

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS GUARAPUAVA
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

ARTHUR RAMPAZZO CZADOTZ

**IMPLEMENTAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA
CONFIABILIDADE EM UM MOINHO DE TRIGO**

**GUARAPUAVA
2019**

IMPLEMENTAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE EM UM MOINHO DE TRIGO

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à
Coordenação de Engenharia Mecânica, como
requisito parcial à obtenção do Título de Bacharel
em Engenharia Mecânica, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. David Lira Nunez

TERMO DE APROVAÇÃO

APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE EM UM MOINHO DE TRIGO

ARTHUR RAMPAZZO CZADOTZ

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em Guarapuava, Paraná na data 06 de dezembro de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

DAVID LIRA NUNEZ
Prof. Orientador

MAICO JEFERSON DE OLIVEIRA
Membro Da Banca

DENISE ALVES RAMALHO
Membro Da Banca

ALDO PRZYBYSZ
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

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

CZADOTZ, Arthur R., **Implementação da Manutenção Centrada na Confiabilidade em um Moinho de Trigo**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Mecânica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2019.

RESUMO

Ao longo das últimas décadas a competitividade entre as empresas continua crescendo, ao mesmo tempo que deixam o mercado mais exigente com a qualidade dos produtos produzidos, que deve ser alcançada com baixo custo e alta produtividade. Devido a isso, as empresas investem na área de manutenção que oferece conservação de equipamentos, redução de custos, diminuição na quebra de ativos físicos e entrega uma maior disponibilidade dos equipamentos, que por sua vez aumenta a qualidade da produção e conseqüentemente dos produtos. No presente trabalho é apresentado o processo de moagem de trigo, os tipos de manutenção e as etapas de aplicação da manutenção centrada em confiabilidade (RCM) neste tipo de indústria. Este estudo tem como objetivo mostrar a aplicação da RCM em uma máquina mecânica de uma fábrica de moinho de trigo, diminuindo o número de quebra do equipamento e aumentando a sua disponibilidade operacional. Para a realização deste estudo foram realizadas entrevistas com os envolvidos na manutenção da fábrica, uma análise do processo produtivo, uma coleta de dados do setor de manutenção e, através do registro e análise das informações adquiridas montou-se uma proposta de RCM. Após o cumprimento destas etapas é esperado que o modelo proposto para a empresa, faça com que esta apresente melhores resultados no que se refere a manutenção.

Palavras-chave: Disponibilidade Operacional, Produtividade, RCM, Gestão da Manutenção.

CZADOTZ, Arthur R., **Implementation of Reliability Centered Maintenance in a Wheat Mill**. 2019. Completion of coursework to obtain a bachelor's degree in Mechanical Engineering – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2019

ABSTRACT

During the most recent period of decades, inter-company promotion continues to grow, while the market becomes more demanding with the quality of products used, which must be achieved with low cost and high utilization. It considered this, as companies invest in the maintenance area that offers equipment conservation, cost reduction, asset breakdown reduction and greater equipment availability, which increases their production quality and consequently the products. The present work presents the wheat milling process, the types of maintenance and the reliability centered maintenance (RCM) application steps in this type of industry. This study aims to show the application of RCM in a mechanical wheat milling machine, reducing the number of equipment breakdown and reducing its operational availability. To conduct this study, interviews were conducted with those involved in the maintenance of the factory, an analysis of the production process, a collection of data from the maintenance sector and, through the registration and analysis of acquired information assembled in a RCM proposal. After the completion of these steps, the proposed model for a company is expected, so that it presents better results with regard to maintenance.

Keywords: Operational Availability, Productivity, RCM, Maintenance Management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Banco de cilindros.	9
Figura 2 – Plansifters.....	12
Figura 3 - Agitador	13
Figura 4 - Entoleter.....	14
Figura 5 - Gráfico com comparativo dos custos entre os tipos de manutenção em relação ao tempo	16
Figura 6 - Banco de cilindros Bühler.	31
Figura 7 - Gráfico número de rotações x número de rolamentos.	33
Figura 8 - Curva PF x Custo de manutenção.....	34
Figura 9 - Dimensões do cilindro fornecidas pela empresa	35
Figura 10 – Representação do cilindro da empresa.....	36
Figura 11 - Cálculo das forças que agem no eixo	37
Figura 12 - Ilustração das posições dos cilindros	38
Figura 13 - Distribuição dos esforços e localização dos mancais, polia e engrenagem.	38
Figura 14 - Diagrama da força.....	39
Figura 15 - Diagrama do momento	40
Figura 16 - Entrada das variáveis para os cálculos dos fatores de segurança	41
Figura 17 - Fórmulas utilizadas para encontrar os fatores k_a, k_b, k_d, k_e, K_f e K_{fs} , e o limite de endurance crítico S_e	42
Figura 18 - Fórmulas utilizadas para os fatores de segurança de Goodman e Von Misses	42
Figura 19 - Fatores de segurança da seção com 225mm de diâmetro.	43
Figura 20 - Fatores de segurança da seção com 75mm de diâmetro.	43
Figura 21 - Fatores de segurança da seção com 70mm de diâmetro.	43
Figura 22 - Especificações do rolamento utilizado pela empresa parte 1	44
Figura 23 - Especificações do rolamento utilizado pela empresa parte 2	45
Figura 24 - Tabela buchas de fixação para rolamentos	46
Figura 25 – Reações nos mancais.....	47
Figura 26 - Cálculos da vida nominal do rolamento	48
Figura 27 - Dimensões da chaveta segundo a norma DIN-6885-1 A	49
Figura 28 - Cálculos dos fatores de segurança de cisalhamento e esmagamento da chaveta.	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aplicação dos recursos na manutenção (%).....	2
Tabela 2 - Investimento de recursos de manutenção (2017)	3
Tabela 3 - Exemplo FMEA.....	25
Tabela 4 - Critérios para a severidade	26
Tabela 5 - Critérios para a ocorrência.....	26
Tabela 6 - Critérios para a detectabilidade	27
Tabela 7 - FMEA Banco de Cilindros.	32
Tabela 8 - Plano de manutenção dos rolamentos.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MCC	Manutenção centrada em confiabilidade
CAE	Engenharia Assistida por Computador (do inglês - <i>Computer-Aided Engineering</i>)
FMEA	Análise de Efeitos e Modos de Falhas (do inglês - <i>Failures Mode and Effect Analysis</i>)
TPM	Manutenção Produtiva Total (do inglês – <i>Total Productive Maintenance</i>)
MTBF	Tempo Médio para Reparo (do inglês - <i>Mean Time To Repair</i>)
RCM	Manutenção Centrada na Confiabilidade (do inglês - <i>Reliability Centered Maintenance</i>)
RPN	Número de Prioridade de Risco (do inglês <i>Risk Priority Number</i>)
Ka	Fator de superfície
Kb	Fator de tamanho
Kc	Fator de carregamento
Kd	Fator de temperatura
Ke	Fator de confiabilidade
Kf	Fator de concentração de tensão de fadiga
Kfs	Fator de concentração de tensão de cisalhamento
Se	Limite de endurance crítico
Sse	Limite de endurance teórico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	JUSTIFICATIVA.....	2
1.1.1	Objetivo Geral	4
1.1.2	Objetivos Específicos	4
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	5
2.1	PROCESSO DE MOAGEM DE TRIGO.....	5
2.1.1	limpeza e umidificação.....	5
2.1.2	Moagem Do Trigo E Produção De Seus Derivados.....	8
2.1.3	Envase, Armazenamento E Distribuição Dos Produtos Acabados	14
2.2	TIPOS DE MANUTENÇÃO	15
2.2.1	MANUTENÇÃO CORRETIVA.....	15
	<i>2.2.1.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA NÃO PLANEJADA</i>	<i>15</i>
	<i>2.2.1.2 MANUTENÇÃO CORRETIVA PLANEJADA</i>	<i>16</i>
2.2.2	MANUTENÇÃO PREVENTIVA	17
	<i>2.2.2.1 MANUTENÇÃO PREVENTIVA BASEADA NA CONDIÇÃO.....</i>	<i>17</i>
2.3	ENGENHARIA DA MANUTENÇÃO	18
2.3.1	ESTADO DA ARTE DA RCM	18
2.3.2	MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE	22
2.3.3	ETAPAS PARA APLICAÇÃO DA RCM.....	22
	<i>2.3.3.1 ESCOLHA DA EQUIPE</i>	<i>23</i>
	<i>2.3.3.2 CAPACITAÇÃO EM RCM</i>	<i>23</i>
	<i>2.3.3.3 ESTABELECIMENTO DOS CRITÉRIOS DE CONFIABILIDADE</i>	<i>23</i>
	<i>2.3.3.4 ESTABELECIMENTO DA BASE DE DADOS</i>	<i>24</i>
	<i>2.3.3.5 FMEA E CLASSIFICAÇÃO DOS COMPONENTES</i>	<i>24</i>
2.3.4	Análise de Efeitos e Modos de Falha - FMEA.....	25
2.3.5	SELEÇÃO DAS ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO PERTINENTES.....	27
	<i>2.3.5.1 DOCUMENTAÇÃO DAS ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO</i>	<i>27</i>
	<i>2.3.5.2 ESTABELECIMENTO DE METAS E INDICADORES</i>	<i>28</i>
	<i>2.3.5.3 REVISÃO DO PROGRAMA DE RCM</i>	<i>28</i>
3	ASPECTOS METODOLÓGICOS	29
4	CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	30
4.1	MODELO PROPOSTO DE RCM.....	30
4.2	SELEÇÃO DO SISTEMA ONDE SERÁ APLICADO O MODELO	30
4.3	IDENTIFICAÇÃO DAS FALHAS E FUNÇÕES CRÍTICAS DO SISTEMA	31
4.4	ESCOLHA DAS ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO ADEQUADAS	32
4.5	ANÁLISE DO MANCAL.....	35
4.5.1	ANÁLISE DO EIXO.....	35
4.5.2	ANÁLISE DO ROLAMENTO	44
4.5.3	ANÁLISE DA CHAVETA	48
4.5.4	CONSIDERAÇÕES SOBRE A ANÁLISE DO EIXO E DE SEUS ELEMENTOS	50
4.6	APRESENTAÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO	50
4.7	MELHORIA CONTÍNUA.....	51
5	CONCLUSÃO	53
	REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

Grandes transformações no processo produtivo ocorreram em razão da primeira e segunda revolução industrial, que fizeram com que as empresas tivessem que se adequar rapidamente ao novo processo de produção, pois estas mudanças trouxeram maior qualidade e produtividade dos produtos, além de renovações nas áreas de marketing, logística e principalmente na manutenção. Segundo Kardec e Nascif (2012) novas exigências vêm surgindo nos últimos anos, devido à grande inovação na tecnologia, fazendo com que as máquinas, equipamentos, obras e projetos se tornassem mais complexos.

Em decorrência à estas mudanças as empresas tiveram grandes oportunidades de aumentar o lucro e a produtividade, mas para que isso se tornasse possível, elas deveriam ser muito competitivas. Em razão deste fato, a manutenção sofreu grandes modificações, por ter se tornado uma das atividades mais importantes dentro da indústria, pois para que seja possível esta alta produtividade e, conseqüentemente maior lucro, é necessário que as máquinas e equipamentos disponham de grande disponibilidade.

De acordo com Romero (2016), este novo modelo de processo produtivo fez com que muitas empresas não tenham conseguido acompanhar o ritmo de todas estas alterações, seja por falta de investimento, desinformação, ou até mesmo resistência às mudanças.

Tendo conhecimento destas informações, surgiu a necessidade de demonstrar a aplicação de uma ferramenta estratégia da manutenção, a Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM - do inglês *Reliability Centered Maintenance*) em um moinho de trigo.

Nesse contexto, durante a visita técnica a um moinho de trigo, na região de Guarapuava, para a realização de um trabalho relacionado à disciplina de Gestão da Manutenção, observou-se a carência da empresa em relação à gestão e manutenção dos seus ativos físicos. Nesse sentido, identificou-se oportunidade de aplicar os conceitos adquiridos no curso de engenharia mecânica, para solucionar esse problema detectado.

Dessa forma, o presente trabalho tem como proposta estudar a aplicação da RCM em um banco de cilindros de um moinho de trigo, diminuindo o número de quebra do equipamento e aumentando a sua disponibilidade operacional.

1.1 JUSTIFICATIVA

Nas últimas décadas, em função do aumento da diversidade dos ativos físicos, de inúmeras organizações que têm que manter os equipamentos em pleno funcionamento, além do aumento da automação e da competitividade entre as empresas, a manutenção tem passado por muitas atualizações e tem recebido cada vez mais atenção, devendo migrar de apenas utilizar intervenções somente corretivas e, se voltar cada vez mais para mitigar paradas não planejadas e buscando a otimização de custos (KARDEC; NASCIF, 2012).

Segundo a Tabela 1, que ilustra o quadro de investimento em manutenção durante um período de 16 anos no Brasil, as aplicações em manutenção corretiva, preventiva e preditiva estão praticamente estáveis. Isso é uma realidade preocupante pois, não há uma tendência em diminuir a corretiva não planejada e aumentar a preditiva.

Tabela 1 - Aplicação dos recursos na manutenção (%)

Ano	Manutenção Corretiva	Manutenção Preventiva	Manutenção Preditiva	Outros
2011	27,4	37,17	18,51	16,92
2009	29,85	38,73	13,74	17,68
2007	25,61	38,78	17,09	18,51
2005	32,11	39,03	16,48	12,38
2003	29,98	35,49	17,76	16,77
2001	28,05	35,67	18,87	17,41
1999	27,85	35,84	17,17	19,14
1997	25,53	28,75	18,54	27,18
1995	32,8	35	18,64	13,56

Hh (serviços de manutenção) / Hh (total de trabalho)

Fonte: Documento Nacional da Manutenção (2011)

Podemos verificar essa tendência também em estudos mais atuais na Tabela 2, que nos mostra que o investimento na manutenção nas indústrias brasileiras, no que se refere as manutenções corretiva e preventiva ainda estão praticamente estáveis, enquanto a manutenção preditiva, ainda não apresenta crescimento.

Tabela 2 - Investimento de recursos de manutenção (2017)

Setores	Trabalho em manutenção corretiva (%)	Trabalho em manutenção preventiva baseada no tempo (%)	Trabalho em manutenção preventiva baseada no estado (%)	Outras atividades de manutenção
Açúcar e Alcool, Alimentos e Bebidas	42%	40%	18%	0%
Aeronáutico e Automotivo	42%	48%	4%	5%
Eletroeletrônicos - Energia Elétrica	28%	44%	12%	16%
Químico e Saneamento	25%	50%	20%	5%
Mineração e Siderúrgico	60%	23%	13%	5%
Petróleo e Petroquímico	47%	39%	14%	0%
Papel e Celulose e Plástico	24%	31%	31%	14%
Predial e Prestação de Serviços (EQ e MQ)	45%	44%	5%	6%
Máquinas e Equipamentos - Metalúrgico	25%	48%	7%	20%
Média geral	38%	41%	14%	8%

Fonte: Documento Nacional da Manutenção (2017)

Nesse contexto, o presente trabalho surgiu da necessidade de se aplicar a manutenção centrada em confiabilidade (RCM) em uma empresa de moagem de trigo, já que esta apresenta uma manutenção não muito eficiente, onde se faz a correção apenas após a quebra dos equipamentos, e para que isto ocorra, é necessário o desligamento completo da linha de produção, o que resulta em muitas horas de funcionamento perdidas e, conseqüentemente na diminuição dos lucros desta.

Segundo Moubray (1997), a definição de RCM é o processo usado para determinar o que precisa ser feito para assegurar que qualquer ativo continue a atender as necessidades dos usuários, no seu contexto operacional atual, e sua filosofia diz que não basta executar certo as tarefas de manutenção, é preciso executar certo as tarefas certas.

Assim a preocupação com a execução e com as partes que compõem o processo de manutenção é fundamental para a efetivação do resultado positivo no final da operação.

1.1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é mostrar a aplicação da RCM em um banco de cilindros de uma fábrica de moinho de trigo, diminuindo falhas e aumentando a confiabilidade.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os seguintes objetivos específicos direcionam o presente trabalho a alcançar o objetivo geral:

- O processo de moagem de trigo;
- Estudar os principais conceitos de manutenção;
- Levantamento dos principais tipos de manutenção;
- Revisão dos principais conceitos da manutenção centrada na confiabilidade;
- Estudo da ferramenta de análise de modos de falha usadas na RCM.
- Análise do banco de cilindros com auxílio do FMEA e ferramentas computacionais;
- Apresentação de um plano de manutenção para o elemento mais crítico de um banco de cilindros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PROCESSO DE MOAGEM DE TRIGO

A moagem de grãos é um processo importante e de grande volume, acerca do desenvolvimento agrícola e alimentício, no Brasil. A cultura de cereais surgiu há 11 mil anos a.C. no Oriente Médio e depois na Europa, com a revolução neolítica. Representou a expressão de uma mudança social e ideológica que acarretou modificações na relação entre o homem e o meio ambiente. Surgia a necessidade de intensificar a produtividade das principais espécies consumidas, dentre elas o trigo, em decorrência do desequilíbrio entre a demografia humana e os recursos alimentares. Como resposta, iniciou-se a especialização da agricultura (NETO; SANTOS, 2017).

Este processo pode ser dividido nas etapas que serão descritas nos tópicos a seguir.

2.1.1 LIMPEZA E UMIDIFICAÇÃO

LIMPEZA

A limpeza consiste na remoção quase total das impurezas que não fazem parte do cereal base, ou em outras palavras, tem como objetivo enviar para a primeira moagem um trigo limpo, sem ferimentos mecânicos e com a menor taxa de infestação microbiológica possível. (BOURSON, 2012; BOURSON, 2013)

Os princípios da limpeza são a diferença dimensional; a influência da força centrífuga, da gravidade, da forma das partículas e sua densidade; a classificação densimétrica; tratamento de superfície; a influência do choque, utilização de percussão; o magnetismo e a diferença de dureza. (BOURSON, 2012; BOURSON, 2013)

A seguir serão discutidos os processos da limpeza dos grãos.

CALIBRAGEM: A remoção das impurezas geralmente tem seu início na eliminação devido a pequena dimensão do grão, eliminando assim com facilidade grande parte das impurezas. Na prática, se tratando da limpeza do trigo, podemos apenas eliminar as maiores e as menores impurezas. (BOURSON, 2012; BOURSON, 2013)

A calibragem é feita através da utilização de chapas perfuradas com furos oblongos, retangulares ou redondos. As dimensões do grão podem ser obtidas por medição direta, com a ajuda de escalas graduadas ou de um paquímetro. Ao fazer estas medições se faz necessário considerar as variações de tamanho muito importantes entre as variedades, devido a este fato é preciso fazer uma medição considerando um grande número de grãos para ter uma média representativa, este processo de medição é chamado de curva de calibragem. (BOURSON, 2012; BOURSON, 2013)

TRIAGEM: Faz com que seja possível uma classificação segundo a grande dimensão das partículas. Para este fim é utilizada, uma parede com alvéolas, móvel em relação à mistura devendo ser separada. Esta parede pode ser: ou um cilindro com alvéolas internas, ou um disco com duas faces com alvéolas. Os separadores complementam, caso necessário, o trabalho dos calibradores. (BOURSON, 2012; BOURSON, 2013)

Nos moinhos de trigo, os separadores fazem as limpezas dos lotes do cereal, eliminando destes as sementes longas e/ou as sementes redondas. (BOURSON, 2012; BOURSON, 2013)

CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO A INFLUÊNCIA DA MASSA VOLUMÉTRICA REAL DAS PARTÍCULAS: Um problema que surge durante a limpeza é o das partículas de sujeira que tem a mesma dimensão e forma do cereal. Devido a isso há uma separação final, levando em consideração a massa volumétrica real das partículas. (BOURSON, 2012; BOURSON, 2013)

Uma superfície permeável ao ar (tela metálica, mesa porosa) é alimentada pelo produto que deve ser separado, esta superfície é animada por um movimento alternativo, fixada por suspensões e inclinada, que forma um ângulo em relação à superfície permeável, tal que o produto, na ausência do ar, suba o plano formado por esta superfície. Esta subida é denominada “avanço”. Quando passamos por esta superfície porosa, um ar com velocidade suficiente, os produtos que devem ser separados são estratificados. As partículas mais leves tendem a ser levantadas, e seu volume aumenta, se diz que elas são fluidizadas, sua fricção com a superfície porosa desaparece quase totalmente, fazendo com que eles não consigam mais subir o declive, fazendo com que elas desçam para um ponto onde são evacuadas num ponto mais baixo. As partículas mais densas permanecem em contato com o plano inclinado, pois sua aderência permanece suficiente com o plano, permitindo que as partículas o subam, elas são evacuadas em um ponto mais alto. (BOURSON, 2012; BOURSON, 2013)

TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE: O processo de tratamento de superfície se trata da fricção e\ou ao choque. Nesta parte da limpeza, se tem como objetivo, obter um joejamento intensivo sem nenhum dano à integridade do cereal, e por outro lado, reduzir o máximo a carga bacteriana do cereal, por meio da limpeza da superfície do grão e se possível do seu sulco. (BOURSON, 2012; BOURSON, 2013)

Este processo faz possível o atrito grão com grão, grão contra peneira, grão contra parede esmeril, palhetas ou batedores contra grão. (BOURSON, 2012; BOURSON, 2013)

A polidora, a cortadora, a embotadora e a descortçadora são as máquinas utilizadas para a realização deste processo. (BOURSON, 2012; BOURSON, 2013)

INFLUÊNCIA DO CHOQUE, DA PERCUSSÃO: Este processo é responsável pela eliminação de insetos e suas ovas. Para este fim é utilizada a força centrífuga, brocas e uma placa de impactos. O aparelho encarregado desta tarefa é conhecido como desinsetizador, podendo este nome variar de acordo com o fabricante. Uma mesma máquina pode servir como descascadora e desinsetizadora. A velocidade de rotação muda influenciando diretamente na velocidade linear dos produtos. (BOURSON, 2012; BOURSON, 2013)

A máquina é composta por um disco sobrepujado por uma coroa tornada solidária por uma série de brocas. O aparelho é alimentado pela coroa, e o produto segurado pelas brocas é lançado violentamente contra um anel circular e, logo após deixa o desinsetizador por gravidade. (BOURSON, 2012; BOURSON, 2013)

MAGNETISMO: Nesta etapa, são retiradas as partículas ferrosas de um lote de trigo. No entanto, para que todas as partículas sejam eliminadas, é necessário a utilização de um detector de metais e um sistema de eliminação destas impurezas, que são prejudiciais ao funcionamento dos ativos. Para esta atividade são usados imãs permanentes retilíneo ou tubular, eletroímã. (BOURSON, 2012; BOURSON, 2013)

DIFERENÇA DE DUREZA: É um processo bastante antigo que torna possível, em certar regiões, eliminar o alho selvagem. Nesse estágio é utilizado o limpador de grãos. (BOURSON, 2012; BOURSON, 2013)

O trigo, após a limpeza, sofre um processo chamado acondicionamento que consiste em umidificar o grão e mantê-lo por um período de descanso para depois ser encaminhado para a moagem propriamente dita.

UMIDIFICAÇÃO

À cada 18 ou 24 horas, cerca de 16% de água é adicionado ao grão. O tempo de descanso e o percentual de adição de água é definido com base na sua dureza. Este processo tem como objetivo deixar o farelo mais flexível para a separação do endosperma na fase da moagem. (BOURSON, 2012; BOURSON, 2013)

Após o processo de acondicionamento o trigo é levado para a moagem.

2.1.2 MOAGEM DO TRIGO E PRODUÇÃO DE SEUS DERIVADOS

Na seção de moagem, o endosperma é separado da casca e do germe e processado em diferentes produtos finais, como sêmola e farinha. O trigo é moído em vários moinhos de cilindros consecutivos, geralmente chamados de coração de um moinho de farinha. Após cada moinho de cilindros, as diferentes partes da semente são separadas por peneiras. Várias peneiras usam um movimento circular para dividir os diversos produtos por tamanho. Além disso, os centrifugadores de farelo e sassores otimizam o processo de separação. Os sassores removem os materiais estranhos por peneiras e fluxo de ar, permitindo uma separação melhor da sêmola limpa. (BOURSON, 2012; BAITINGER, 2012)

O processo de trituração e peneira é repetido várias vezes para maximizar a separação, aumentando a qualidade e o rendimento de produtos acabados. Como resultado, o trigo é processado para se transformar em sêmola, farinhas de diferentes qualidades e farelos. (BOURSON, 2012; BAITINGER, 2012)

A redução seletiva do grão de trigo com a finalidade de deixar a casca intacta e reduzir o tamanho do endosperma é executada cuidadosamente em várias etapas. As máquinas trituradoras ideais para esta finalidade são o banco de cilindros e o plansifter. (BOURSON, 2012; BAITINGER, 2012)

A seguir falaremos mais detalhadamente sobre como funcionam as máquinas responsáveis pelo processo de moagem.

BANCO DE CILINDROS: Nos bancos de cilindros modernos, a moagem é feita através de cilindros girando um em direção ao outro, a cada dois cilindros formam um par. A maioria dos moinhos hoje adotam bancos com dois pares de cilindros, por estes

ocuparem menos espaços e apresentarem um menor custo de instalação e cada par de cilindros trabalhar independentemente om do outro. Em cada par de cilindro um deles é ajustável, para que se torne possível a aproximação e o afastamento entre eles, para se obter a tamanho da partícula desejado após a moagem. Este cilindro ajustável também apresenta uma mola incorporada a ele, para que no caso de uma partícula indesejável passe pelos rolos, o dano que seria causado aos cilindros é prevenido. Esta máquina pode ser vista na Figura 1. (BOURSON, 2012; BAITINGER, 2012)

Figura 1 - Banco de cilindros.



Fonte: Sangatiberga, 2019.

Quando o cereal entra no banco de cilindros, ele passa por uma câmera que se localiza acima dos cilindros, onde é mantida sobre checagem até ser acionada pelo mecanismo de alimentação que alimenta o material nas superfícies de trabalho dos rolos. Esse mecanismo geralmente é formado por um cilindro de pequeno diâmetro e com abertura ajustável. Também estão em uso alimentadores do tipo agitador ou vibratório e um alimentador do tipo gaiola de esquilo que consiste em uma gaiola de arame rotativa. (BOURSON, 2012; BAITINGER, 2012)

O processo moderno de moagem é chamado de “moagem alta”, e os cilindros raiados são utilizados para quebrar os grãos de trigo (produzindo diferentes tamanhos de endosperma quanto possível) são ondulados, ou seja, sua superfície é estriada. As ondulações são distribuídas de forma helicoidal ao longo do cilindro, assim quando os cilindros giram um contra o outro, há um cruzamento de ondulações produzindo uma ação de cisalhamento para desenrolar os casacos de farelo nos grãos em vez de esmagá-los quando eles passam. (BOURSON, 2012; BAITINGER, 2012)

Depois da produção de uma grande quantidade de endosperma, chamados de “*middlings*”, eles são gradualmente reduzidos a farinha por cilindros lisos. Aqui é

desejada uma ação de esmagamento para reduzir o tamanho das partículas do endosperma e aumentar o tamanho de quaisquer partículas de farelo que possam estar contidas no estoque, esta ação de esmagamento expõe os cilindros a maiores esforços do que os cilindros das outras etapas de moagem. Há casos em que rolos ondulados são usados em algumas das maiores partículas de endosperma. Um dos principais motivos desse procedimento é obter maior proteção para uma quantidade limitada de superfície do rolo. (BOURSON, 2012; BAITINGER, 2012)

Como um auxílio para a moagem, os cilindros giram com uma rotação diferente, dando assim o efeito de um cilindro (o mais rápido) tentando empurrar o cereal enquanto o outro (mais lento) tende a segurar o cereal. A diferença entre as velocidades varia de acordo com o tipo de moagem, e também muitos moinhos tem suas próprias convicções neste assunto, no entanto, usualmente nos cilindros onde a moagem é mais intensa se usa um a diferença de 2-1/2 para 1 ou 2 para 1, para uma moagem mais suave é utilizado uma diferença de 1-1/2 para 1 de 2 para 1. (BOURSON, 2012; BAITINGER, 2012)

Todo banco de cilindros é suprido com sucção, esta é geralmente aplicada na parte de cima da máquina, para o escoamento do calor gerado durante a operação de moagem. O calor umidifica o produto, então este deve ser removido, para prevenir a condensação do produto, o que causaria umidade dentro das caixas dos cilindros. (BOURSON, 2012; BAITINGER, 2012)

PURIFICADOR: O purificador é responsável pela mudança de “moagem baixa” para “moagem alta”, ou a produção das primeiras partículas limpas e puras de endosperma e, em seguida, a redução gradual delas em farinha. (BOURSON, 2012; BAITINGER, 2012)

A purificação é meramente uma separação das partículas de farelo do material do endosperma e o princípio usado para isso é baseado na grande dissimilaridade entre as duas substâncias. Neste caso, o peso mais a área da superfície estão envolvidos e correntes de ar são empregadas em conjunto com uma peneira alternada. (BOURSON, 2012; BAITINGER, 2012)

Esse processo consiste em alimentadores vibratórios ou de rolos, que levam a uma peneira suspensa. A extremidade posterior da peneira é ligeiramente inferior à extremidade superior na qual o material entra e está em uma câmara um pouco maior do que o tamanho total da peneira. A armação é colocada no lugar, mantendo as aberturas nos cabides de ajuste do pano da peneira, e a extremidade da cabeça é presa às hastes

conectadas aos excêntricos para dar um movimento alternado à peneira. Uma escova que passa por baixo da peneira mantém as aberturas no pano da peneira abertas. (BOURSON, 2012; BAITINGER, 2012)

O ar entra na máquina abaixo da peneira através de persianas ajustáveis e é aspirado através das peneiras e estoques intermediários. O movimento recíproco da peneira inclinada se move em direção à cauda, permitindo que as correntes de ar passem através dela, facilitando a passagem de partículas intermediárias pelas aberturas da malha. As correntes de ar transportam partículas finas e leves para longe ou tendem a suspender as partículas maiores de farelo no topo da massa, à medida que ela se move ao longo da peneira até que sejam arrastadas. (BOURSON, 2012; BAITINGER, 2012)

Até recentemente, o material que passava pela peneira era recolhido por dois transportadores de parafuso na base da máquina. O material pode ser cortado em um transportador ou no outro através do meio das válvulas basculantes, mas os purificadores moderados têm fundos mais altos ou outros meios de eliminar os convênios. Isso proporciona uma leve redução no consumo de energia e minimiza bastante o acúmulo de infestação na máquina. (BOURSON, 2012; BAITINGER, 2012)

SIFTERS: Esta máquina é suspensa no teto por palhetas de madeira e não possui nenhum mecanismo de acionamento no chão, assim como a maioria dos estilos mais antigos, que eram máquinas circulares fixas e acionadas com um eixo de manivela. O arremesso ou percurso circular da peneira é controlado pela velocidade, quantidade de peso, da distância em que os pesos são posicionados no centro do eixo de tração. O balanço livre oferece muitas velocidades mais altas do que no passado, e a prática geral é reduzir os arremessos à medida que a velocidade aumenta. Este equipamento pode ser visto na Figura 2. (BOURSON, 2012; BAITINGER, 2012)

Figura 2 – Plansifters.



Fonte: Idulgel, 2019.

As peneiras viajam de maneira giratória, fazendo um círculo perfeito de 2 a 4 polegadas de diâmetro, dependendo da velocidade, se estiverem funcionando corretamente. (BOURSON, 2012; BAITINGER, 2012)

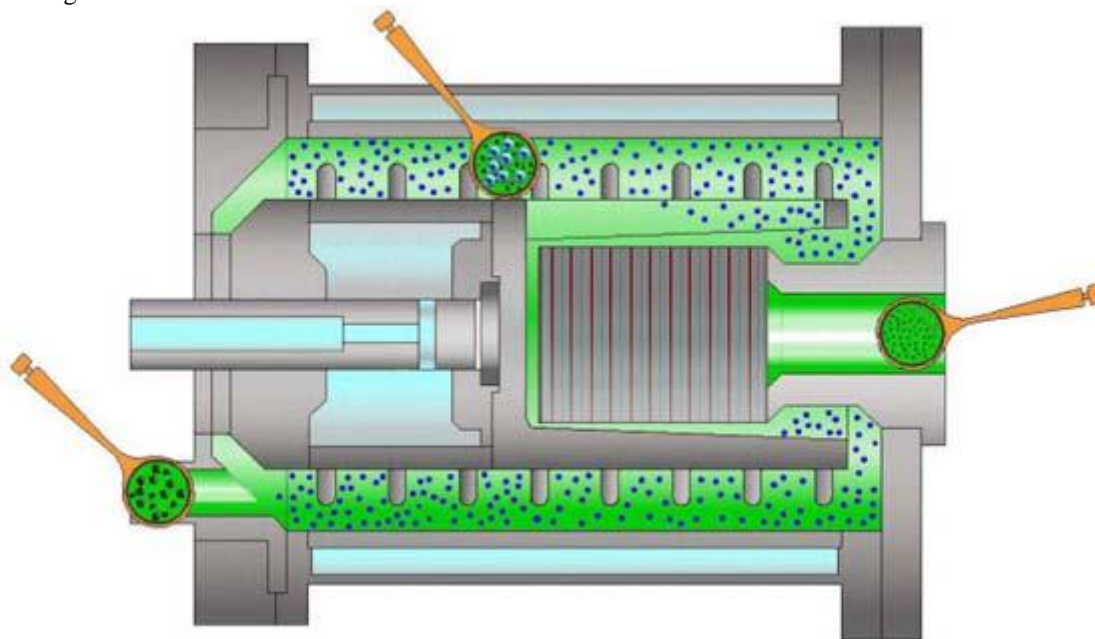
O princípio envolvido em uma peneira em um moinho é o mesmo que o envolvido em uma peneira de mão pequena. Se você colocar algum material em uma peneira de mão, agite-o, perceberia que as partículas mais leves buscariam o topo da massa, enquanto as mais pesadas tendem a ir para baixo. Os “plansifters” são compostos por peneiras arranjadas em uma caixa, são movidas por um eixo com um motor acionador, em movimentos excêntricos, circular. Consiste na separação de produtos de diversos calibres, através de empilhamento de peneiras animadas de um movimento circular fazendo a fração menor passar através das aberturas, e a fração maior rechaçada. Trata-se, portanto de uma classificação granulométrica. O “plansifter” recebe os produtos provenientes dos cilindros, estes produtos são transportados normalmente por sistema pneumático, são separados em ciclones, (o produto sofre uma queda na velocidade e decanta), e descarregados por uma válvula rotativa. No “plansifter” são classificados por diferença de granulometria e direcionados de acordo com o diagrama de moagem. (BOURSON, 2012; BAITINGER, 2012)

ESPANADORES: Os espanadores consistem em um cilindro coberto de arame no interior do qual são escovas giratórias montadas em um eixo que atravessa o centro da máquina. As escovas viajam à uma rotação decididamente mais alta que o cilindro que neste caso também gira na mesma direção. O brusher esfrega o farelo contra o arame e o material fino passa através das aberturas da malha quando o farelo é descarregado e a

extremidade oposta da máquina pela qual entra. Os espanadores de farelo foram projetados para fazer a limpeza final de qualquer farinha do farelo que os rolos e as peneiras não conseguiram descartar. (BOURSON, 2012; BAITINGER, 2012)

AGITADORES: O branqueamento de farinha ocorre em máquinas chamadas jacarés. No processo de branqueamento, a farinha embranquece. (BOURSON, 2012; BAITINGER, 2012)

Figura 3 - Agitador



Fonte: A moagem superfina em um moinho agitador “um processo físico para a obtenção de nanopartículas” et al HARBS, W. Theron (2019).

O agitador economista (Figura 3) é amplamente utilizado devido à sua operação eficiente e ao consumo de energia bastante baixo. A carcaça do agitador forma uma câmara selada e o eixo horizontal dentro da carcaça fornece uma ancoragem para muitas pás pequenas, lançadas de tal maneira que, após a farinha entrar na máquina, ela é chicoteada através da câmara para a extremidade descarregada, supostamente jogada de uma raquete para nas próximas. À medida que a farinha é transportada e agitada através da câmara, as partículas podem entrar em contato com qualquer um de um número de agentes de branqueamento (gases) que foram forçados a entrar na máquina sob pressão. Quando a farinha está sendo branqueada, um produto uniforme depende de uma operação eficiente no agitador. (BOURSON, 2012; BAITINGER, 2012)

ENTOLETTERS: A função principal desta máquina é a de controlar a infestação do produto. As instalações estão sendo feitas com "entoletters" como "pré-intervalos", para quebrar os grãos de trigo danificados, para que possam ser removidos do vapor antes que chegue aos rolos de ruptura. Esta máquina pode ser visualizada na Figura 4. (BOURSON, 2012; BAITINGER, 2012)

Figura 4 - Entoleter



Fonte: Hasdegirmen, 2019.

Após os processos de moagem a farinha é preparada para ser distribuída aos consumidores.

2.1.3 ENVASE, ARMAZENAMENTO E DISTRIBUIÇÃO DOS PRODUTOS ACABADOS

Nesta etapa o produto é embalado em embalagens de 1 Kg, 5 Kg, 25 Kg 50 Kg, Big Bag e transporte a granel. O produto deve ser armazenado sempre em ambientes limpos, secos e arejados. A distribuição dos produtos é feita por uma frota própria do moinho ou por transportadoras. A armazenagem no moinho praticamente não existe mais, logo é encaminhado para o consumidor. (BOURSON, 2012; BAITINGER, 2012)

Após o estudo sobre o processo de moagem, nos próximos tópicos serão discutidas as referências bibliográficas necessárias para a realização deste trabalho.

2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO

A manutenção é um conjunto de ofícios e ferramentas, com finalidade de manter o funcionamento em relação a confiabilidade, disponibilidade, custos, prazos e vida útil esperados das máquinas de uma linha de produção, e para que isto aconteça, é necessário adaptação nos modelos de produção (MIRSHAWKA; OLMEDO, 1993).

Para que estas metas da manutenção sejam alcançadas, são utilizadas muitas técnicas que foram desenvolvidas e melhoradas durante os anos, por profissionais que atuam ou atuavam na área de manutenção. São encontrados vários tipos de manutenção, os principais são: corretiva planejada e não planejada, preventiva e preditiva. Além disso, há estratégias de manutenção como: engenharia de manutenção, RCM e TPM (Manutenção produtiva total). (ROMERO, 2016).

2.2.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA

É a manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane ou de uma falha destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida (NBR 5462:1994).

Segundo Viana (2014), a manutenção corretiva é uma ação necessária, para evitar grandes danos às máquinas da linha de produção, ao meio ambiente e aos trabalhadores. Esse tipo de manutenção se caracteriza em ser uma intervenção aleatória, sem planejamento anterior, sendo chamada nas indústrias de “apaga incêndio”.

Já para Kardec e Nascif (2012), o uso da manutenção corretiva se dá ao se fazer alguma modificação em um equipamento que não está entregando o que se espera ou que apresente algum defeito. Entendendo assim, que este tipo de manutenção não é, apenas, emergencial. Sendo sua principal função corrigir ou restaurar as condições de funcionamento de um sistema.

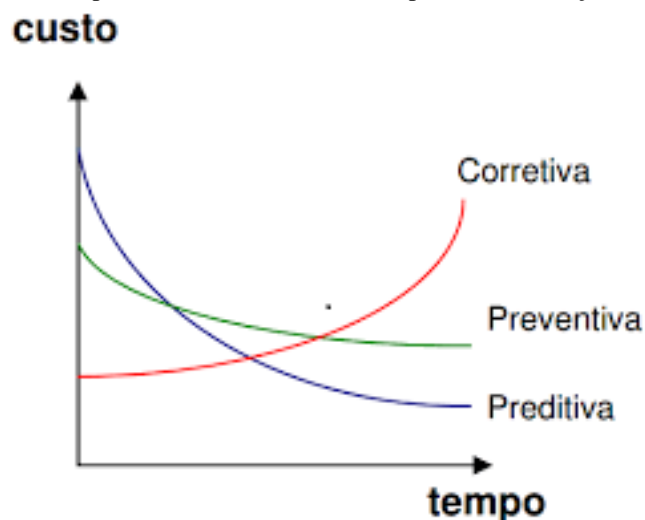
A manutenção corretiva pode ser dividida em duas categorias: a manutenção corretiva não planejada e, a planejada.

2.2.1.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA NÃO PLANEJADA

Se caracteriza por sua aplicação após a ocorrência de uma falha ou desempenho abaixo do esperado. Não se faz planejamento para o reparo dos equipamentos. A

utilização somente deste tipo de manutenção resulta em altos custos, como podemos ver na Figura 5, pois a quebra inesperada de uma máquina pode trazer prejuízos na produção, na qualidade dos produtos, além da possibilidade de afetar as condições de outras máquinas que vinham atuando nas suas condições normais, a segurança do ambiente de trabalho e o meio ambiente.

Figura 5 - Gráfico com comparativo dos custos entre os tipos de manutenção em relação ao tempo



Fonte: Cavalcante & Almeida, 2005

2.2.1.2 MANUTENÇÃO CORRETIVA PLANEJADA

É quando se faz a correção devido ao equipamento não apresentar o desempenho esperado, se baseando no acompanhamento dos parâmetros de condição e diagnóstico levados a efeito pela preditiva, corretiva e detectiva (KARDEC; NASCIF, 2012).

Uma ação quando é planejada, traz melhores resultados do que uma ação não planejada. Mesmo que a escolha da gerência seja deixar o equipamento trabalhando até a quebra, está será uma decisão planejada, sendo assim não deverá trazer efeitos negativos para as máquinas, e não afetará muito radicalmente a produção. Pois esta falha será esperada, e já haverá medidas corretivas planejadas para serem aplicadas quando ocorrer o problema.

A necessidade da utilização deste tipo de manutenção surge quanto maiores forem as consequências da falha para a segurança, produção e custos.

A manutenção corretiva planejada se dá pela execução do acompanhamento preditivo, uma das suas maiores características é que a ação no equipamento se dá antes da falha acontecer.

2.2.2 *MANUTENÇÃO PREVENTIVA*

É a manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescrito, com a finalidade de diminuir a chance de um equipamento falhar ou a degradação de um item. (NBR 5462:1994)

Segundo Viana (2014) a manutenção preventiva é toda a ação de manutenção em máquinas que ainda não estejam em falha, estando ainda em condições operacionais ou em estado de zero defeito.

Quando, durante a utilização deste tipo de manutenção, se adota um comportamento muito conservador, pode gerar altos gastos com a manutenção, devido a troca de equipamentos em boas condições e paradas desnecessárias (ROMERO, 2016).

A preventiva é adotada em indústrias onde se tem alto risco de agressão ao meio ambiente; quando não é possível a utilização da manutenção preditiva; é também usada em equipamentos de difícil liberação operacional.

2.2.2.1 *MANUTENÇÃO PREVENTIVA BASEADA NA CONDIÇÃO*

Também conhecida como manutenção preditiva, é a manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas e análises, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e corretiva (NBR 5462:1994).

A manutenção preditiva são tarefas da preventiva, que tem como objetivo acompanhar os ativos de uma empresa, por meio de monitoramento instrumentado ou não instrumentado, controle estatístico ou por medições e tentam prever a próxima falha (VIANA, 2014).

Tem como objetivo, através de técnicas de monitoramento, prever o acontecimento da próxima falha, e com isso determinar o tempo correto para se fazer cada

manutenção, com isso evitando paradas desnecessárias e desmontagens da máquina para inspeção.

2.3 ENGENHARIA DA MANUTENÇÃO

Engenharia da manutenção significa perseguir *benchmarks*, aplicar as técnicas mais modernas, e estar no mesmo parâmetro da manutenção do primeiro mundo. Ela é o suporte técnico da manutenção que se dedica a consolidar a rotina e implantar a melhoria, e tem como suas principais funções, aumentar a confiabilidade e a disponibilidade, melhorar a manutenibilidade, aumentar a segurança, eliminar problemas crônicos, solucionar problemas tecnológicos, melhorar a capacitação do pessoal gerir materiais e sobressalentes, dar suporte a execução, fazer análise de falhas e estudos, elaborar planos de manutenção e de inspeção e fazer sua análise crítica, acompanhar os indicadores e zelar pela documentação técnica (KARDEC; NASCIF, 2012).

Objetiva-se com o uso desta metodologia que seja evitado a manutenção repetitiva nos ativos da empresa que apresentam problemas crônicos, melhoria da manutenibilidade dos equipamentos, melhorias de padrões como tempo médio entre falhas. Também, tem como meta dar suporte a área de compras e de projetos, não dando todas as atenções para a manutenção, mas também na operação e disponibilidade dos equipamentos (ROMERO, 2016).

2.3.1 ESTADO DA ARTE DA RCM

O estado da arte sobre RCM apresenta que dita técnica já está bastante propagada e aceita na área de gestão e manutenção de ativos mecânicos, tanto na comunidade científica, quanto nas indústrias. Já foi estudado e aplicado em diversos trabalhos, citados a seguir, onde foram analisados os modos de aplicação deste processo.

No trabalho desenvolvido por Baran (2011), que visa mostrar o resultado da implantação da RCM com foco na redução e eliminação de falhas em sistemas industriais, foi constatado com as análises feitas durante três anos pelo autor que no primeiro ano (ano da implantação), o dobrador de alumínio estudado no trabalho apresentava uma média mensal de 28 falhas relacionadas ao controle de tensão, divididas em 4 modos de falhas. Após a análise e a execução das atividades de manutenção, foi observada uma

redução de 47% na ocorrência mensal das falhas de tensionamento, tendo um número de 15 falhas por mês. Além disso não houve a ocorrência de dois modos de falha neste período. Após a avaliação, execução e análise dos resultados das atividades da manutenção, foi iniciada a etapa de melhoria contínua. Neste estágio a redução das falhas foi de 80% em comparação com o último período. Com base nestes resultados a RCM se mostrou eficiente na redução de modos de falhas específicos em um sistema de manutenção.

No estudo feito por Romero (2016), que visa mostrar os resultados da aplicação da RCM em um separador centrífugo, foi detectado que, após um ano da implantação do estudo, o número de quebras do equipamento, que era de 111 ocorrências ao ano, e seu custo de manutenção que gerava um custo de R\$ 740.000, foram reduzidos; a maior redução se deu no custo de manutenção, que caiu para R\$ 126.000, já a redução das falhas não foi tão significativa, mas mesmo assim caiu para 80 ocorrências naquele ano, no entanto não foi registrada nenhuma parada não programada do equipamento no período analisado. Com estes resultados pode-se concluir que a RCM reduz os custos, melhora a disponibilidade e a confiabilidade, além de aumentar o conhecimento dos envolvidos com o equipamento.

No trabalho realizado por Lima (2011), que tem como objetivo maximizar o uso de um britador móvel, através da aplicação da metodologia RCM, pode-se perceber a diminuição das horas de manutenção no equipamento, e conseqüentemente o aumento da sua disponibilidade e confiabilidade após a implementação do RCM. Os resultados deste estudo estão baseados no tempo total de manutenção do equipamento em horas, que no início do trabalho apresentada uma média de 97,4 horas de manutenção por mês, no entanto após 7 meses da implantação da RCM essa média caiu para 50,3 horas por mês.

No estudo desenvolvido por De Aguiar Cavalcanti (2011), que tem como objetivo a aplicação da metodologia RCM em uma rebobinadeira como forma de subsidiar uma melhora nos indicadores de manutenção e na qualidade do produto, se pode observar que a aplicação da RCM trouxe uma diminuição nos chamados relativos à manutenção acidental, após um ano a média de chamadas, por mês, para o braço corte da rebobinadeira caiu de 7 para 3; e os chamados para o conjunto de apoio para a rebobinadeira caíram de 5 chamadas por mês para 2. E como conseqüência deste resultado houve um aumento na disponibilidade do equipamento e uma diminuição nos custos de manutenção.

Mas, por outro lado, o RCM é ainda um tema atual, pois todos os dias surgem novos estudos sobre ele, e estes são aplicados em empresas por todo o mundo. Este processo é considerado um grande diferencial estratégico para a manutenção das empresas, por trazer ganhos econômicos, seja por meio da redução dos custos da manutenção ou através do aumento da disponibilidade, confiabilidade e de ganhos de produtividade dos ativos (QUINTELLA, 2016).

O RCM, após sua implantação, é uma atividade econômica, eficiente e eficaz de manutenção. É econômica por ter o objetivo de buscar um melhor vínculo entre as atividades da manutenção e custo benefício. É eficiente por buscar que os esforços com a manutenção sejam os menores possíveis, diminuindo empenho desnecessários. É eficaz pois busca que as atividades de manutenção sejam feitas na raiz dos problemas previamente identificados (BERGMAN, 1999).

Apesar de estudos de caso de RCM, tenham quase unanimidade quando se fala que a adoção do RCM traz muitos benefícios, sua implantação é muito cara, exigindo uma grande quantidade de recursos e um longo período. Exige também que diferentes áreas da empresa trabalhem juntos. E, como qualquer sistema de gestão requer o envolvimento e o apoio da alta cúpula da empresa, com objetivo de aplicar a introdução das novas ideias dentro da empresa, ao mesmo tempo que evita possíveis confrontos culturais que normalmente surgem. Trata-se de um processo no qual exige uma mudança de comportamento de todos os envolvidos. Dessa maneira, cooperando com a adequação do RCM à realidade da empresa (MKANDAWIRE; IJUMBA; SAHA, 2015).

Para Bowler (1995), apesar de os defensores da RCM admitam que a sua aplicação é cara, a decisão para sua adoção não é encarada como um investimento, para os quais a correlação financeira é calculada previamente. O RCM é aplicado como sendo um investimento por si só, ou seja, é aplicado na maioria das vezes mais como uma “esperança” de que resultará em bons resultados. Dessa forma, gerentes com pressa para ver resultados, estão utilizando RCM sem ter conhecimento sobre as dificuldades e custos envolvidos. Clarke (2001) e Johnson (2002) dizem que a RCM só fornece resultados à longo prazo, e algumas vezes este retorno não vem na forma financeira diretamente, ou apresenta retornos indiretos de difícil orçamento.

O RCM não é um processo que ofereça resultados imediatos, devido a este motivo aqueles que o adotarem devem estar cientes que o retorno da sua aplicação só virá em torno de 5 a 10 ano (IAEA, 2007).

Segundo Faccio et al. (2014), em razão da alta complexibilidade e da grande dificuldade existente na coleta de dados corretos de campo, fazem com que a descrição e a estimativa dos custos de manutenção se tornam muito difíceis, como a seleção da melhor política de manutenção. Com estas dificuldades muitas empresas deixam de lado o projeto de implantação de RCM bem no início. No entanto, para Eti, Ogaji e Probert (2006b), líderes de empresas tem percebido cada vez mais a importância da manutenção e o seu impacto financeiro. E, por este motivo, passam a ter a ótica de que a manutenção é um custo necessário no orçamento, ou seja, a confiabilidade se tornou uma questão de grande importância em operações de grande investimento financeiro.

Para Bergman (1999), RCM é o ensejo para que a manutenção seja vista como um ato que agrega valor e que tem contribuição direta para resultados operacionais do dinheiro investido.

Havendo o aumento de lucratividade como objetivo, uma melhor administração dos equipamentos pela manutenção tende a aumentar os lucros de duas formas; de maneira direta, com a diminuição dos custos operacionais dos ativos; e de maneira indireta, aumentando a confiabilidade e a disponibilidade dos ativos, assim aumentando a capacidade produtiva. No cenário em que a empresa gaste mais de 5% do valor do ativo em manutenção, muito provavelmente estará em dificuldades financeiras. O custo da manutenção está associado a confiabilidade e qualidade dos ativos, como ele é usado, ao plano de manutenção utilizado pela empresa e à estratégia do negócio. Devido a isso, os donos de empresas estão procurando, cada vez mais, ativos que por projeto precisem de menos manutenção (ETI; OGAJI; PROBERT, 2006c).

Conclui-se que a RCM já está bastante estudada e conhecida na indústria e no meio científico. Já foi aplicada em vários estudos de caso que exploram seus princípios e suas possibilidades de aplicação. Tem alto custo de implementação, e em alguns casos está sendo aplicado de maneira errada por gerentes com pressa para obter resultados. A RCM apresenta resultados à longo prazo, e muitas vezes apresenta retornos indiretos de difícil orçamento. A manutenção centrada em confiabilidade é o caminho para que a manutenção seja vista como investimento que contribui diretamente para a melhora dos resultados operacionais do dinheiro investido.

2.3.2 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

A Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM), do inglês *Reliability Centered Maintenance*, foi criada no final dos anos 60 e tinha, inicialmente, orientação para a indústria aeronáutica, com o objetivo de alinhar os esforços de manutenção com componentes e sistemas onde a confiabilidade é essencial (MOUBRAY, 1997; SIQUEIRA, 2009; WANG e HWANG, 2004).

Pode ser definida como uma abordagem que utiliza, em conjunto, várias técnicas de engenharia para garantir que os ativos de uma empresa continuarão a realizar suas funções especificadas (MOUBRAY, 1997; SIQUEIRA, 2009; WANG e HWANG, 2004).

2.3.3 ETAPAS PARA APLICAÇÃO DA RCM

A aplicação da RCM se dá por algumas etapas, que podem ser diferentes de empresa para empresa, dependendo dos recursos disponíveis, financeiros ou de pessoal para a implantação. No entanto, existe um caminho a ser seguido, com etapas indispensáveis para que o programa tenha êxito. Inicialmente existem sete questões que devem ser respondidas:

- 1 – Quais as funções e os padrões de desempenho desejados do item em seu contexto atual?
- 2 – De que formas ele pode falhar em cumprir suas funções?
- 3 – O que causa cada falha operacional?
- 4 – O que acontece quando ocorre cada falha?
- 5 – Qual é a importância de cada falha observada?
- 6 – O que deve ser feito para prevenir cada falha?
- 7 – O que deve ser feito caso uma tarefa preventiva adequada não seja encontrada?

Mas para que estas perguntas sejam respondidas com profundidade suficiente para que se tenha um resultado satisfatório, é necessário a reunião de algumas informações, que devem ser passadas para todos os membros da RCM.

A RCM pode ser definida em nove etapas, escolha da equipe, capacitação em RCM, estabelecimento dos critérios de confiabilidade, estabelecimento da base de dados,

aplicação da FMEA e classificação dos componentes, seleção das atividades de manutenção pertinentes, documentação das atividades de manutenção, estabelecimento de metas e indicadores, revisão do programa de RCM (FOGLIATO; RIBEIRO, 2009;).

2.3.3.1 ESCOLHA DA EQUIPE

A primeira fase da implantação da RCM é a escolha da equipe que irá comandar o programa. Esta equipe deve ter um líder, que acredite nos princípios da RCM, possuir vontade de promover as modificações necessárias, ter uma boa comunicação, e ser um bom motivador. A alta gerência também deve fazer parte da equipe, além disso, este time deve ter representantes da produção, engenharia e manutenção. Este comitê irá gerenciar a inserção do programa. Estas equipes devem ter um facilitador, além de um eletricitista, um engenheiro e um mecânico, que tenham grande experiência no processo ou equipamento em análise. (FOGLIATO; RIBEIRO, 2009; VIANA, 2014; KARDEC; NASCIF, 2012)

2.3.3.2 CAPACITAÇÃO EM RCM

Depois de conhecidos os membros da equipe que irá comandar o programa, a próxima fase é a capacitação do comitê e equipes de trabalho. Todos os membros do comitê devem ter profundo conhecimento sobre RCM, padrões de falha, falhas funcionais, diagrama de blocos, conceitos de confiabilidade, redundância, diagrama de blocos, manutenção preventiva, corretiva e preditiva, FMEA, diagrama de decisão da RCM e suas etapas de implantação. No que diz respeito as equipes de trabalho, estas devem ter conhecimento sobre os fundamentos da RCM, fundamentos de confiabilidade, FMEA, diagrama de decisão da RCM e conhecimentos básicos sobre manutenção preventiva corretiva. (FOGLIATO; RIBEIRO, 2009; VIANA, 2014; KARDEC; NASCIF, 2012)

2.3.3.3 ESTABELECIDAMENTO DOS CRITÉRIOS DE CONFIABILIDADE

Na aplicação da RCM, se deve estabelecer a confiabilidade esperada pelos ativos e pela planta como um todo. Como regra, a RCM tem como objetivo impedir acidentes

que possam causar danos pessoais; impedir acidentes que possam causar danos ambientais e infrações a normas locais, nacionais ou internacionais; impedir acidentes que causem dano financeiro e promover alta confiabilidade aos equipamentos mais importantes. Depois de estabelecidas as metas de confiabilidade, podem ser identificadas as necessidades de redundância de componentes, e podem ser dimensionadas as atividades de manutenção (FOGLIATO; RIBEIRO, 2009; VIANA, 2014; KARDEC; NASCIF, 2012).

2.3.3.4 ESTABELECIMENTO DA BASE DE DADOS

A RCM necessita dos dados relacionados à confiabilidade dos ativos estejam disponíveis. Para esse fim, é necessário estabelecer uma base de dados que faça a classificação e o registro das falhas observadas na empresa. Este banco de dados tem grande importância pois define a estrutura de sistema/subsistema/conjunto/componente, que será consultada e atualizada na realização de análises e planejamentos. Definindo assim a estrutura dos registros e intervenções, a estrutura da análise por FMEA, a estrutura de programação das atividades de manutenção. Além disso também permite uma análise mais formal sobre a confiabilidade, estas análises servirão de base para mensurar as atividades de manutenção (FOGLIATO; RIBEIRO, 2009; VIANA, 2014; KARDEC; NASCIF, 2012).

2.3.3.5 FMEA E CLASSIFICAÇÃO DOS COMPONENTES

Para a aplicação do FMEA é necessário a identificação da função de cada componente. Manter os ativos capazes de realizar estas funções é o principal objetivo da manutenção. Posteriormente, por meio do FMEA, são nomeados os modos de falha de cada componente, seus efeitos e causas. Na RCM a nomeação dos efeitos de falha leva à classificação do componente como crítico, potencialmente crítico ou não crítico. Também nos permite fazer uma classificação dos efeitos das falhas críticas ou potencialmente críticas como; possível acidente envolvendo pessoal, material, meio ambiente, parada da linha, ou outras perdas econômicas consideráveis. Os elementos críticos e potencialmente críticos devem ser considerados no plano de manutenção. Já os não críticos, cuja falha não tem graves consequências, a estratégia que é adotada geralmente é reativa, ou seja,

rodar até a falha e utilizar a manutenção corretiva (FOGLIATO; RIBEIRO, 2009; VIANA, 2014; KARDEC; NASCIF, 2012).

2.3.4 ANÁLISE DE EFEITOS E MODOS DE FALHA - FMEA

É uma ferramenta que tem como objetivo identificar e priorizar defeitos nos ativos, sistemas ou processos. FMEA é uma abordagem lógica que hierarquiza as falhas possíveis de acontecer e oferece sugestões para ações preventivas. É um método formal que faz uso de especialistas com o objetivo de analisar e resolver falhas. (KARDEC; NASCIF, 2012)

Existe o FMEA focado no projeto, processo e sistema. Os profissionais da manutenção estão mais envolvidos no FMEA do processo, devido o processo ser a etapa onde os equipamentos são instalados e estão operando. Além disso, os especialistas em equipamentos são da manutenção (KARDEC; NASCIF, 2012).

Tabela 3 - Exemplo FMEA

FMEA										
Nome do Sistema/Subsistema/Componente:									Data:	
Integrantes:									Versão:	
Elemento	Função Requerida	Modo de Falha	Efeito	SEV	Causa	Controle Preventivo proposto	OCC	Controle detectivo proposto	DET	RPN

Fonte: Adaptado da Norma SAE J1739

Na Tabela 3 é ilustrado o modelo de um FMEA, onde o elemento é a parte individual do produto, que pode ser o Sistema, Subsistema ou Componente; a função é a atividade ou característica que o elemento deve ter; o requerimento é a exigência que a função deve cumprir; o modo de falha é o motivo; pelo qual a função requerida do elemento não é executada, ou a maneira como um elemento pode falhar; o efeito é o impacto da falha não aceita pelo usuário. A severidade do efeito (Tabela 4) é a gravidade da falha do elemento.

Tabela 4 - Critérios para a severidade

Severidade	Gravidade do efeito na operação da máquina	Peso
Muito Alto (Catastrófico)	Qualquer evento que possa causar a perda da função requerida da máquina, resultando em danos significativos para a máquina ou processo produtivo, seu ambiente, e/ou gerar danos ao ser humano	4
Alta (Crítica)	Qualquer evento que possa causar a perda da função requerida da máquina, resultando em danos significativos para a máquina ou ao seu processo produtivo, gerando insatisfação do cliente, mas sem risco ao ser humano	3
Moderado (limite)	Qualquer evento que degrida a função requerida de desempenho (performance) da máquina, mas sem dano apreciável à máquina ou vida humana	2
Baixo (Insignificante)	Qualquer evento que poderia causar a degradação da função requerida de desempenho (performance) da máquina, resultando em danos insignificantes à própria máquina, processo produtivo ou ao seu ambiente, mas nenhum dano à vida ou aos membros humanos. A maioria dos usuários não nota a ocorrência.	1

Fonte: Adaptado da Norma SAE J1739

A causa é o que ocasiona a falha, ou indicação de porque a falha vai ocorrer, e a ocorrência (Tabela 5) é a probabilidade de a falha acontecer.

Tabela 5 - Critérios para a ocorrência

Ocorrência	Taxa de falha	Peso
Muito Alta	quase inevitável 100/1000	5
Alta	ocorrem com frequência 20/1000	4
Moderada	ocasional 5/1000	3
Baixa	raramente ocorrem 0,5/1000	2
Mínima	muito improvável 0,001/1000	1

Fonte: Adaptado da Norma SAE J1739

O controle preventivo é o conjunto das atividades que são tomadas em elementos iguais ou parecidos ao analisado; o controle detectivo são as atividades de aplicabilidade da análise da robustez do produto; e a detectabilidade (Tabela 6) é a probabilidade da causa da falha ser resolvida.

Tabela 6 - Critérios para a detectabilidade

Detecção	Probabilidade de detectar a falha	Peso
Muito Alta	quase certo que a atividade irá mitigada a falha	5
Alta	probabilidade alta que a atividade mitigará a falha	4
Moderada	pode ser que a atividade mitigue a falha	3
Baixa	baixa probabilidade que a atividade mitigue a falha	2
Remota	a atividade não irá mitigar a falha	1

Fonte: Adaptado da Norma SAE J1739

O RPN, é dado pela multiplicação da severidade, ocorrência e detectabilidade.

Tendo o resultado de RPN (número de prioridade de risco), é feita uma classificação do componente e da sua falha, e principalmente identifica-se a causa potencial para ser detalhada, estratificada e analisada. Nessa etapa é importante considerar que não pode ser deixada de lado a SEV (severidade) mais alta, independente do RPN total.

2.3.5 SELEÇÃO DAS ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO PERTINENTES

Nessa fase são definidas as atividades de manutenção para cada elemento que foi identificado como crítico ou potencialmente crítico. Estes são os componentes que quando falham, podem causar algum acidente, parada da linha ou perda econômica. Assim sendo, o plano de manutenção deve fazer o máximo esforço possível para evitar que as falhas ocorram nestes componentes. Sempre que possível a avaliação do desgaste, as tarefas de manutenção devem ser preditivas, orientadas pelo desgaste. A troca com base no tempo de uso, sem avaliação do desgaste, deve ser feita quando não é possível a avaliação do desgaste, mas se sabe que o componente se desgasta com o tempo. A procura por falhas deve ser utilizada em componentes potencialmente críticos, sujeitos a falhas ocultas. A utilização do equipamento até a falha pode ser empregada em componentes que não possuem efeito de falha grave. (FOGLIATO; RIBEIRO, 2009; VIANA, 2014; KARDEC; NASCIF, 2012)

2.3.5.1 DOCUMENTAÇÃO DAS ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO

Quando utilizadas a manutenção preditiva e preventiva devem estar documentadas em planilha, esta deve incluir o sistema, subsistema, conjunto,

componente, descrição detalhada da atividade, periodicidade e responsável. Para a RCM, é necessário que todas as ações sejam documentadas. É importante esclarecer o que deve ser feito e possuir registro do que foi realizado (FOGLIATO; RIBEIRO, 2009; VIANA, 2014; KARDEC; NASCIF, 2012).

2.3.5.2 ESTABELECIMENTO DE METAS E INDICADORES

Metas e indicadores são de extrema importância para o gerenciamento da RCM. No início, dever ser estabelecidos os indicadores apropriados, na maioria das vezes envolvendo métricas de tempo de parada, disponibilidade de ativos e qualidade do processo. A partir destes indicadores e do levantamento da situação atual da empresa, é possível estabelecer metas coerentes. Após definidas as metas, a próxima etapa é o monitoramento dos indicadores, apresentados em tabelas e gráficos que possibilitem observar o desenvolvimento em comparação com a situação inicial, e a distância remanescente para a meta estabelecida (FOGLIATO; RIBEIRO, 2009; VIANA, 2014; KARDEC; NASCIF, 2012).

2.3.5.3 REVISÃO DO PROGRAMA DE RCM

O programa de RCM, como todas as atividades do homem, se modifica com o tempo. A condição dos ativos, o conhecimento a respeito do processo, os recursos da manutenção não permanecem os mesmos com o passar dos anos. Em razão disso, os procedimentos de manutenção, incluindo a natureza e periodicidade das atividades, devem ser revistos regularmente (FOGLIATO; RIBEIRO, 2009; VIANA, 2014; KARDEC; NASCIF, 2012).

3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Como descrito na seção 1.3, o objetivo deste trabalho é propor um modelo para aplicação da RCM em uma máquina de um moinho de trigo. Para entender melhor a realidade deste moinho, e escolher em qual máquina esse processo deve ser aplicado, foi desenvolvido um estudo da realidade da empresa.

Para a realização deste estudo, foram seguidas estas etapas:

- Entrevistas com envolvidos na manutenção na fábrica: gestores, operadores, encarregados e mecânicos. Através das entrevistas foi possível entender em qual máquina a aplicação da RCM apresentará mais vantagens;

- Análise do processo produtivo: são coletadas informações importantes do processo, e através de análise é possível determinar criticidade, necessidade de inspeções e manutenções dos ativos;

- Coleta de dados sobre o setor de manutenção e comparar com o manual dos maquinários: procura de dados nos quais a empresa se baseia para a tomada de decisões.

- Análise do histórico de intervenções de manutenção nas máquinas da indústria em estudo, para identificar a máquina com maior número de intervenções desnecessárias;

- Registro e análise das informações adquiridas através do FMEA e cálculos: análise de todos os dados levantados pelas etapas anteriores visando a montagem de uma proposta de um plano de manutenção para o componente mais crítico do banco de cilindros.

- Levantamento das recomendações de funcionamento, do fabricante, sobre a máquina a ser estudada;

Após o cumprimento destas etapas é esperado que o modelo proposto para a empresa, faça com que a máquina escolhida apresente melhores resultados no que se refere a manutenção.

4 CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Este capítulo descreve o modelo de RCM a ser implantado, com base nas bibliografias consultadas, para a redução das falhas e tarefas relacionadas com a manutenção de um banco de cilindros de um moinho de trigo. A princípio será descrito o modelo de implementação proposto, seguida da análise do eixo e seus elementos, e da descrição do plano de manutenção e do seu processo de aplicação.

4.1 MODELO PROPOSTO DE RCM

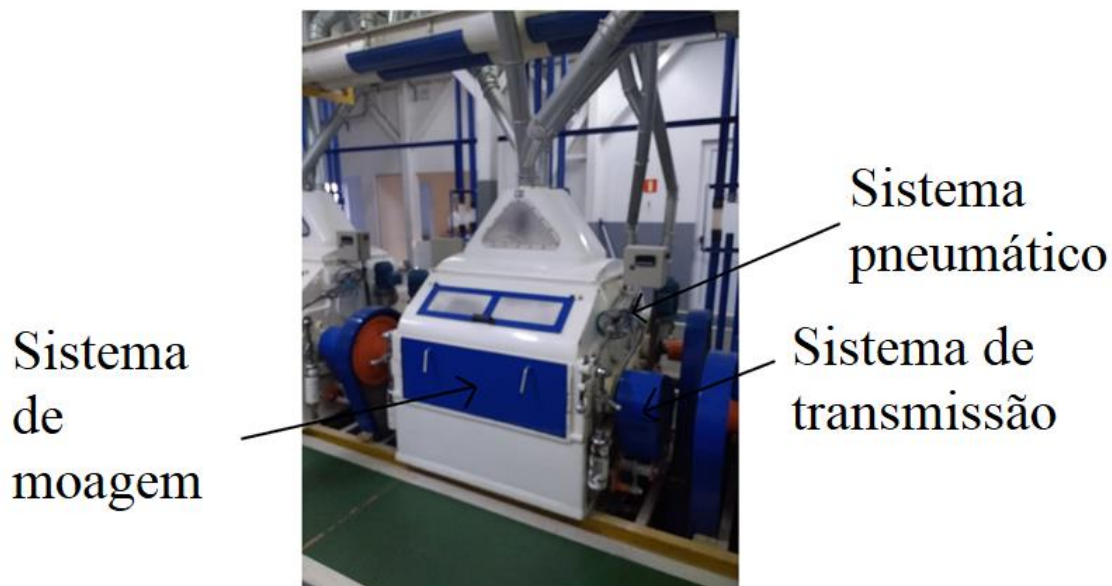
O modelo proposto deve se adequar a realidade da empresa em questão, levando em conta seu contexto operacional e organizacional, observando seus processos, seus produtos, suas práticas de manutenção, objetivando uma visão total do sistema em análise.

Dito isso, considerando as etapas de aplicação da RCM, listadas nos aspectos metodológicos, foi desenvolvida a proposta do modelo nos tópicos a seguir.

4.2 SELEÇÃO DO SISTEMA ONDE SERÁ APLICADO O MODELO

O equipamento selecionado para este estudo foi escolhido por sua grande importância no processo de moagem de grãos. Devido a máquina ser um gargalo da produção, ou seja, uma falha nesta etapa da produção acarretará maiores perdas na produtividade e conseqüentemente maiores perdas na parte financeira, e também pelo relato da empresa, considerou-se importante trabalhar em cima do banco de cilindros de um moinho de trigo (Figura 6), acreditando que a RCM aplicada a este equipamento trará melhores resultados para a empresa.

Figura 6 - Banco de cilindros Bühler.



Fonte: Autoria própria.

Foram escolhidos os bancos de cilindros que apresentam rolos lisos, ou seja, os últimos na linha de produção, pois segundo a empresa são os que apresentam maiores problemas em relação a manutenção, e dentre os problemas relatados, o que aparece com maior frequência é a quebra de rolamentos.

Devido a empresa não apresentar um histórico de manutenção escrito, a única informação sobre as manutenções, relacionadas a rolamentos, da empresa foi que, os rolamentos do banco de cilindro em questão são trocados em média uma vez ao ano.

Para comprovar a afirmação da empresa sobre os rolamentos, será discutido no próximo tópico a identificação das falhas e funções críticas do sistema.

4.3 IDENTIFICAÇÃO DAS FALHAS E FUNÇÕES CRÍTICAS DO SISTEMA

Nesta etapa foram identificadas as falhas que podem ocorrer nos componentes descritos pela empresa como os mais críticos neste equipamento.

Após a identificação dos problemas foram estudados os possíveis modos de falha e suas consequências.

Na Tabela 7 estão demonstradas estas análises em forma de FMEA. Onde pôde ser concluído através do RPN, comprovando o relato da empresa, que o componente que apresenta maiores problemas em relação a manutenção é o elemento rolamento.

Tabela 7 - FMEA Banco de Cilindros.

FMEA										
Nome do Sistema: Banco de Cilindros de moagem de trigo										
Integrantes: Arthur Rampazzo Czadotz										
Data: 22/09/2019										
Versão: 1										
Elemento	Função Requerida	Modo de Falha	Efeito	SEV	Causa	Controle Preventivo proposto	OCC	Controle detectivo proposto	DET	RPN
Sistema de Moagem	Moagem do grão sem contaminação do mesmo	Desgaste e empenamento do cilindro de moagem	Não moe o grão de maneira esperada	3	Montagem ou regulagem incorreta Material de fabricação errado	Treinamento do operador Realização do cálculo do eixo e dos seus componentes	2	Se atentar aos cilindros, para ver se estão realizando sua função requerida sem perda de desempenho	3	18
		Quebra do cilindro de moagem	Não realiza a moagem do grão	4	Máquina operando acima de seu limite operacional Material de fabricação errado	Atenção aos limites da máquina quanto a carga de trabalho e realização do cálculo do eixo e seus componentes	1	Verificar os se os cilindros rachaduras ou outras avarias	4	16
Sistema de transmissão	Transmissão de torque	Arrebentamento das correias	Não há transmissão do torque	3	Esforço elevado e ressecamento Lubrificação inadequada	Utilizar a máquina na capacidade correta Lubrificar corretamente os rolamentos	3	Se atentar às condições da correia sempre que possível	2	18
		Quebra dos Mancais	Os cilindros não rotacionam	3	Contaminação Dimensão de encosto errada Erros de montagem	Filtragem do lubrificante Atenção no tamanho do encosto de acordo com o catálogo de fabricantes Atenção na montagem	4	Análise preditiva instrumentada ou por experiência	3	36
		Quebra das polias	Não há transmissão do torque	3	Tipo errado de rolamento Material incorreto	Escolha correta dos rolamentos de acordo com catálogos de fabricantes Escolha correta do material	2	Se atentar se as polias estão transmitindo o torque como esperado	3	18
		Empenamento do eixo do pistão	Não regula corretamente a posição dos cilindros de moagem	2	Falta de sintonia entre a correia e a polia	Montagem correta, e atenção com a lubrificação dos pistões	2	Se atentar se os pistões estão conseguindo realizar sua função sem ruídos estranhos e muito esforço	4	16
Sistema Pneumático	Regular as posições dos cilindros	Quebra do eixo do pistão	Não regula a posição dos cilindros de moagem	3	Esforços fora do eixo Erros de montagem	Montagem correta, e atenção com a lubrificação dos pistões	1		4	12

Fonte: Autoria Própria.

4.4 ESCOLHA DAS ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO ADEQUADAS

Nesta etapa do trabalho será selecionado o tipo de manutenção mais adequada para os rolamentos da empresa, tendo como base o FMEA e estudos sobre manutenção de rolamentos.

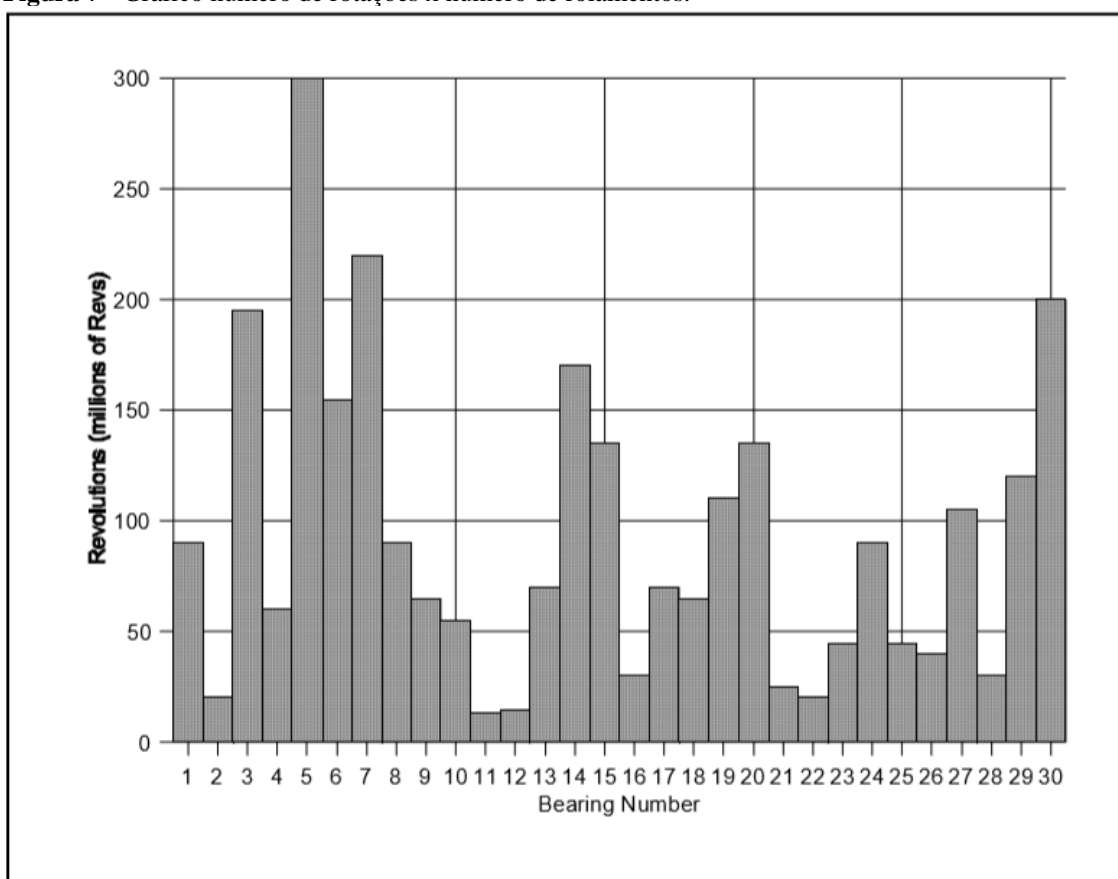
Segundo os dados fornecidos pela empresa, o rolamento utilizado nos bancos de cilindro é o 22216EAKE4, um rolamento auto compensador de rolos.

Como a empresa não tem histórico de manutenção, buscou-se estudos sobre manutenção de rolamentos.

Em uma pesquisa realizada por John Wiley e publicada em forma de livro, foram abordados os principais tópicos para se obter maior confiabilidade em rolamentos. Dentre os estudos realizados o autor expõe uma experiência realizada com rolamentos esfera, que tinha o objetivo de mapear o momento de ocorrência das falhas e sua periodicidade. Este ensaio foi feito a seleção 30 rolamentos novos e todos com a mesma condição, e foram submetidos à operação no mesmo momento e de forma padronizada.

O resultado deste estudo foi sintetizado na Figura 7, que é um gráfico número de voltas x número de rolamentos.

Figura 7 - Gráfico número de rotações x número de rolamentos.



Fonte: Ball and Roller Theory, Design, & Application. Eschmann, et al John Wiley & Sons, 1985

Após a análise deste estudo, pode-se ver que não há periodicidade nas falhas dos rolamentos, enquanto alguns falharam com 300 milhões de revoluções, outros falharam com apenas 20 milhões.

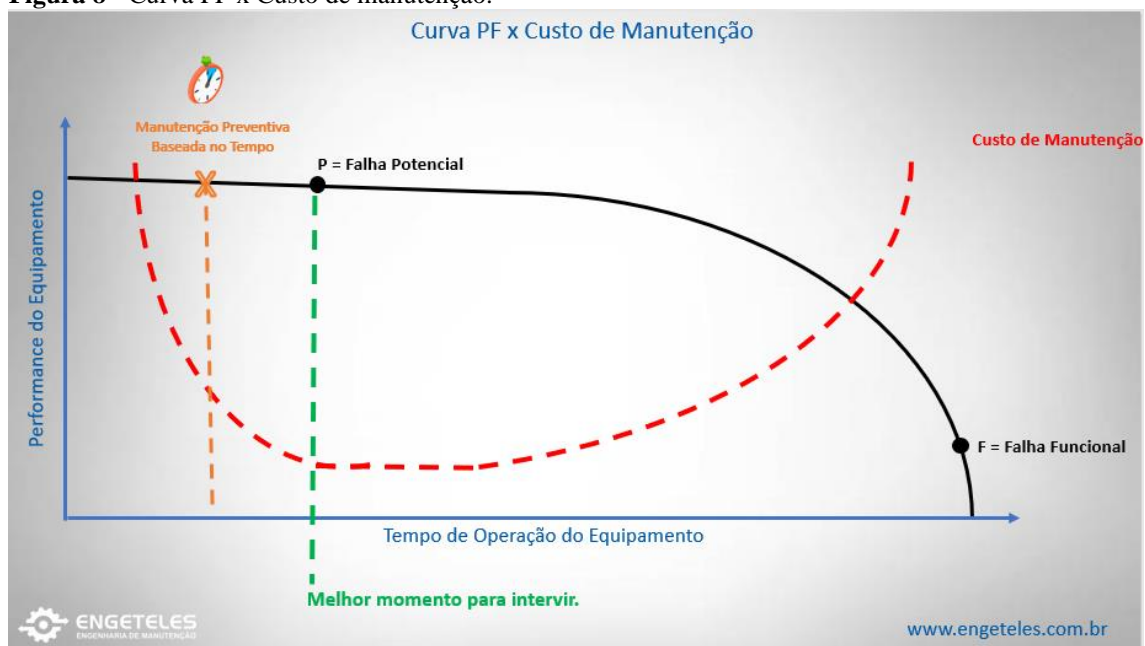
Devido a isso, caso fosse aplicada somente manutenção preventiva nestes rolamentos, haveria uma grande chance de não se obter sucesso, pelo motivo de que não há relação entre a falha e o tempo de operação. Por exemplo, se fosse realizada uma manutenção preventiva (troca) nos rolamentos à cada 20 milhões de revoluções, um grande número de peças iriam para o lixo com uma boa parte da sua vida útil ainda restante, por outro lado se a troca fosse feita a cada 150 milhões de revoluções (média entre as quebras), muitas peças já iriam ter falhado antes desta troca programada.

Desta forma, pode-se concluir que a melhor opção para a manutenção de rolamentos é a manutenção proativa, ou seja, uma inspeção preditiva seguida de preventiva programada. Esta conclusão é ilustrada na Figura 8.

Com este estudo, foi provado que não é possível prever a falha potencial de um rolamento, com isto resta a opção de acompanhar o equipamento de forma preditiva e utilizar a manutenção preventiva assim que a falha potencial for identificada, ainda em estágio potencial.

Com esta prática é esperada a diminuição dos gastos da empresa, pois quanto mais próximo da falha a manutenção for feita, menor o custo.

Figura 8 - Curva PF x Custo de manutenção.



Fonte: Engeteles, 2019

No t3pico a seguir ser3o feitas an3lises sobre o mancal e seus perif3ricos, com a finalidade de auxiliar na montagem do plano de manuten3o.

4.5 AN3LISE DO MANCAL

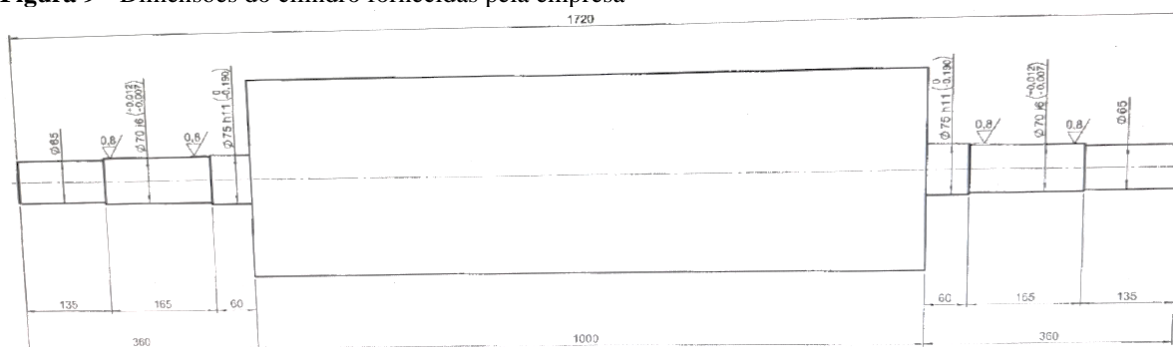
Com o objetivo de auxiliar o estudo do mancal, ser3o analisados seus perif3ricos: o eixo e a chaveta, bem como o pr3prio mancal. Estas an3lises ser3o apresentadas nos t3picos a seguir. E por fim, com base nestes estudos ser3 proposto um plano de manuten3o para os rolamentos deste banco de cilindros.

Com o prop3sito de alavancar as an3lises e aumentar a rapidez dos c3lculos, foram utilizados como aporte tecnol3gico duas ferramentas computacionais: a linguagem Python e o software de modelagem 3D Solid Edge.

4.5.1 AN3LISE DO EIXO

Primeiramente, para este fim, foi feito um esboço do cilindro no software Solid Edge (Figura 10), com base nas dimens3es do cilindro fornecidas pela empresa (Figura 9), para melhor visualiza3o e para tornar poss3vel o c3lculo dos esforços em cada regi3o do cilindro.

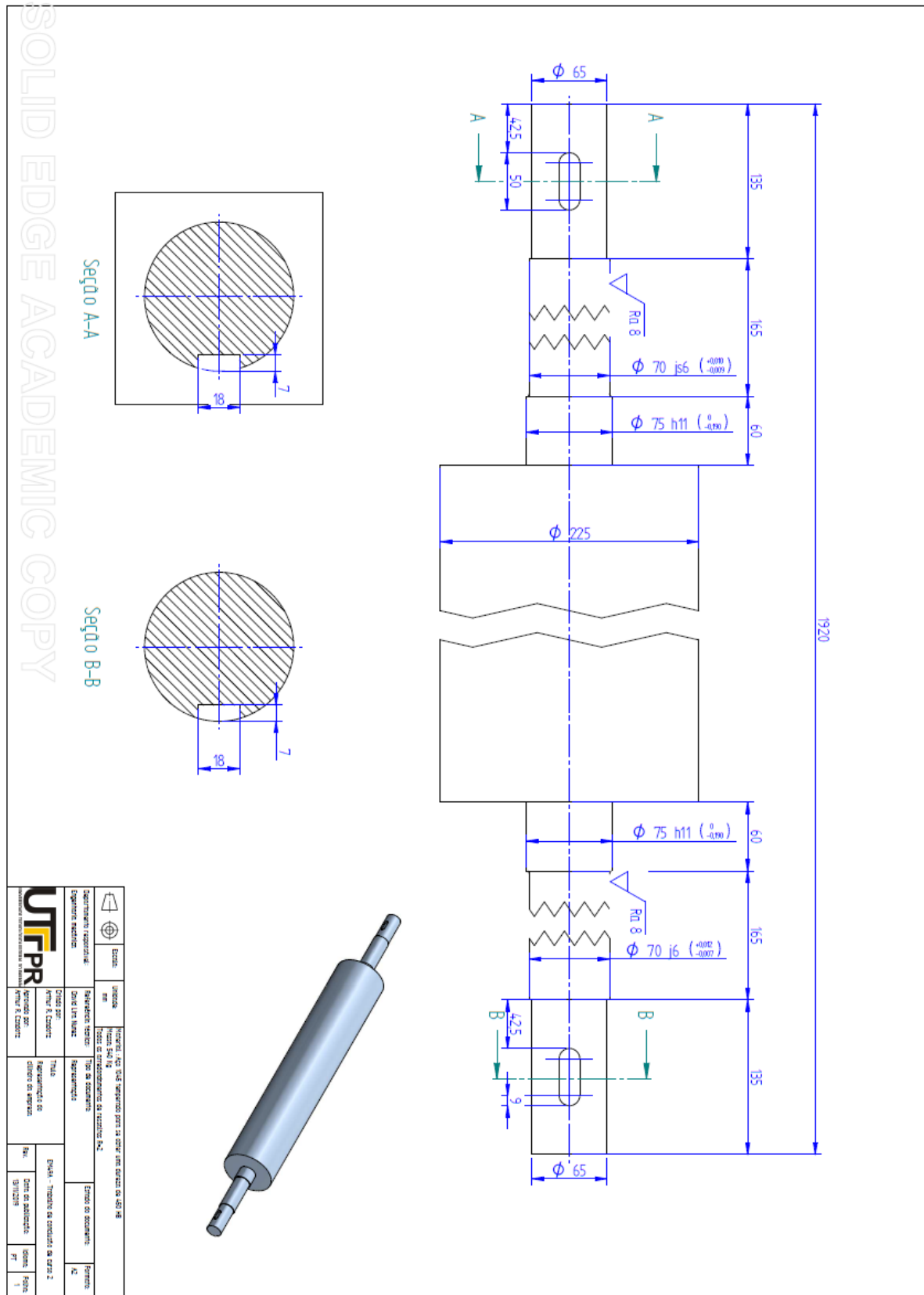
Figura 9 - Dimens3es do cilindro fornecidas pela empresa



Fonte: Empresa estudada.

Ap3s a moldagem do cilindro, foram distribu3dos os esforços que atuam nele (Figura 12), com a finalidade de encontrar o diagrama de momento (Figura 14), que ir3 nos apontar as regi3es mais cr3ticas do cilindro de moagem.

Figura 10 – Representação do cilindro da empresa



Fonte: Autoria própria

Durante uma das visitas a empresa, foram coletados os dados de potência do motor (11032,5W), os diâmetros da polia do motor (25 cm) e da polia do eixo (50 cm), o que resulta em uma relação entre as polias de 1 para 2, também foi coletado o valor do diâmetro da engrenagem do eixo (17cm), a massa do cilindro (540 Kg) e a sua rotação (550 rpm), além destes dados se considerou que o fator de trabalho (Ks), para os equipamentos com a característica do estudado, é de 1,2.

Com estes dados em mãos, foi possível o cálculo das forças que agem no eixo, segundo Budynas e Bismett (2014) que descreve os passos para estes cálculos na bibliografia de sua autoria. Os cálculos e as equações são lustrados na Figura 11.

Todos os cálculos realizados neste capítulo foram feitos através do auxílio da linguagem de programação Python, porém o objetivo deste trabalho não é estudar o funcionamento desta linguagem de programação. Um curso sobre o assunto pode ser encontrado no site www.cursoemvideo.com.

Figura 11 - Cálculo das forças que agem no eixo

```

from sympy import *
from numpy import *
from math import *

P=15 #Potência em cavalos
Pw= P*735.499 #Potência do motor em Watts
ks=1.2 #Fator de trabalho
re= 0.085 #raio da engrenagem em metros
rp= 0.25 #raio da polia do eixo em metros
n= 550 # RPM do eixo
Tm= ks*Pw*9.55/n #Torção no eixo em N.m
Fn=Tm/rp # Força nominal em N
Fb=1.5*Fn #Força no plano XY na posição da polia em N
Wt=Tm/re# Força no plano XY na posição da engrenagem em N
Wr=Wt*0.363970234 #Força no plano XZ na posição da engrenagem em N, onde tg20=0.36397
print (Tm, Fn, Fb, Wt, Wr)
229.8768692727273 919.5074770909092 1379.2612156363639 2704.4337561497327 984.3333870633172

```

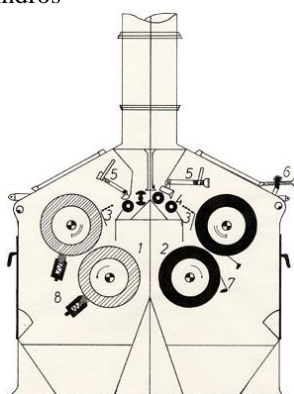
Fonte: Autoria própria.

Segundo o resultado dos cálculos da Figura 11, temos que as forças representadas na Figura 13 são, da esquerda para direita, a força devido ao torque do motor e a polia (1379N, plano XY), que está localizada na posição média da primeira seção do cilindro; a força devido a massa do cilindro e a força de aperto no plano XY (28541N, Plano XY) e da sua força de aperto no plano XZ (33941N, Plano XZ), que estão localizadas na posição média da quarta seção do cilindro; e a força que a engrenagem do outro cilindro exerce por reação na engrenagem do cilindro estudado (2704,4N, no plano XZ e 984,3N no plano XY), que está localizada na posição média da sétima seção do cilindro. Além

disso o cilindro sofre a ação de um torque de 229,87 Nm. Os mancais estão localizados nas posições médias da segunda e da sexta seção do cilindro.

Em razão de não ser possível a medição ou o cálculo da força de aperto entre os cilindros, esta foi estimada para que o cilindro apresentasse um fator de segurança de Goodman próximo a 2. Podendo esta ser entendida como a força máxima que pode ser aplicada por um cilindro no outro (48000N em um ângulo de 45 graus). Uma ilustração genérica da posição dos cilindros pode ser vista na Figura 12.

Figura 12 - Ilustração das posições dos cilindros



Fonte: Schorch.

Figura 13 - Distribuição dos esforços e localização dos mancais, polia e engrenagem.

Desenhista de Eixo do Solid Edge

Parâmetros de Desenho Resultados Calculados

Parâmetros do Eixo

Seção 1

Esquerda Direita

Adicionar Excluir Adicionar

Nome	Valor
Tipo de Seção	Rasgo de ...
(d) Diâmetro	65,00 mm
(C) Comprime...	135,00 mm
(B) Largura de	18,00 mm

Apoios

Nome	Valor
Número do ...	2
Número do E...	6
Distância	82,50 m...
Axialmente ...	<input type="checkbox"/> 0

Cargas

Adicionar Remover

Nome	Valor
Número da...	1
Número da...	1
Distância	67,50 mm
Força Radia...	1379,200
Força Radia...	0,000 N
Momento d...	0 Nm

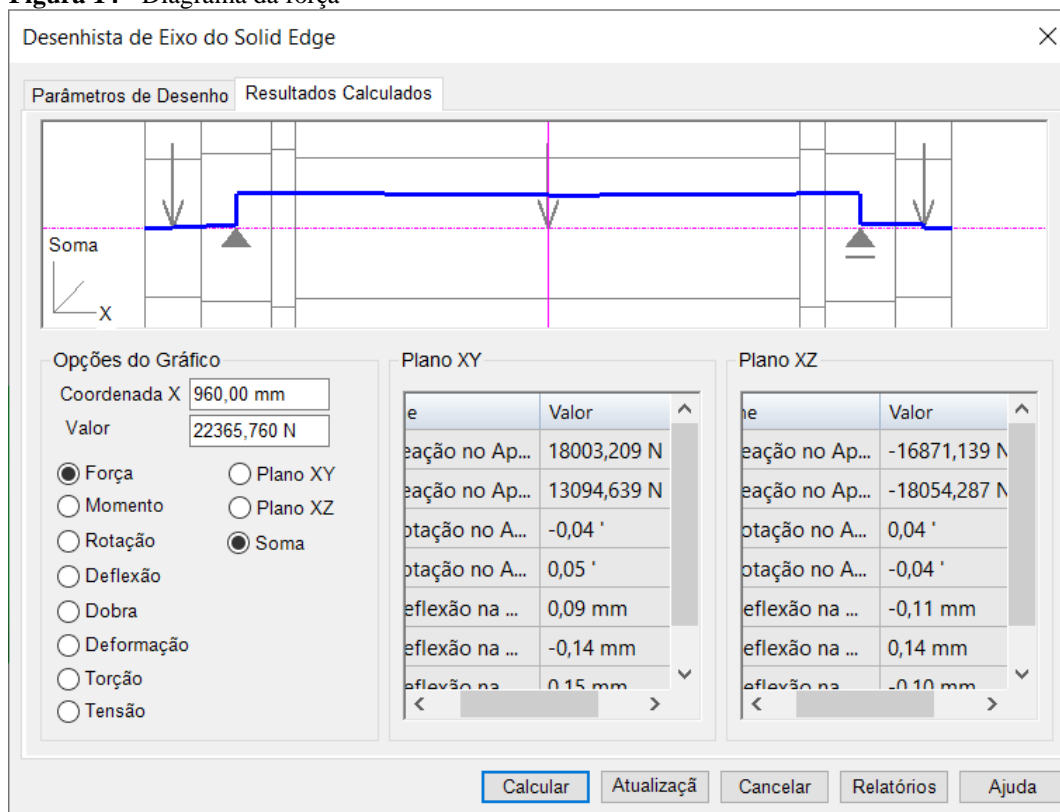
Material

Calcular Atualizaçã Cancelar Relatórios Ajuda

Fonte: Autoria própria.

Para o cálculo das reações em cada ponto do cilindro, foi utilizado o programa Solid Edge, que por sua vez nos fornece os valores da força cortante e do momento em todos os pontos do cilindro, além de construir os diagramas da força (Figura 14) e do momento (Figura 15), quando alimentado com os dados das forças que agem sobre o cilindro.

Figura 14 - Diagrama da força



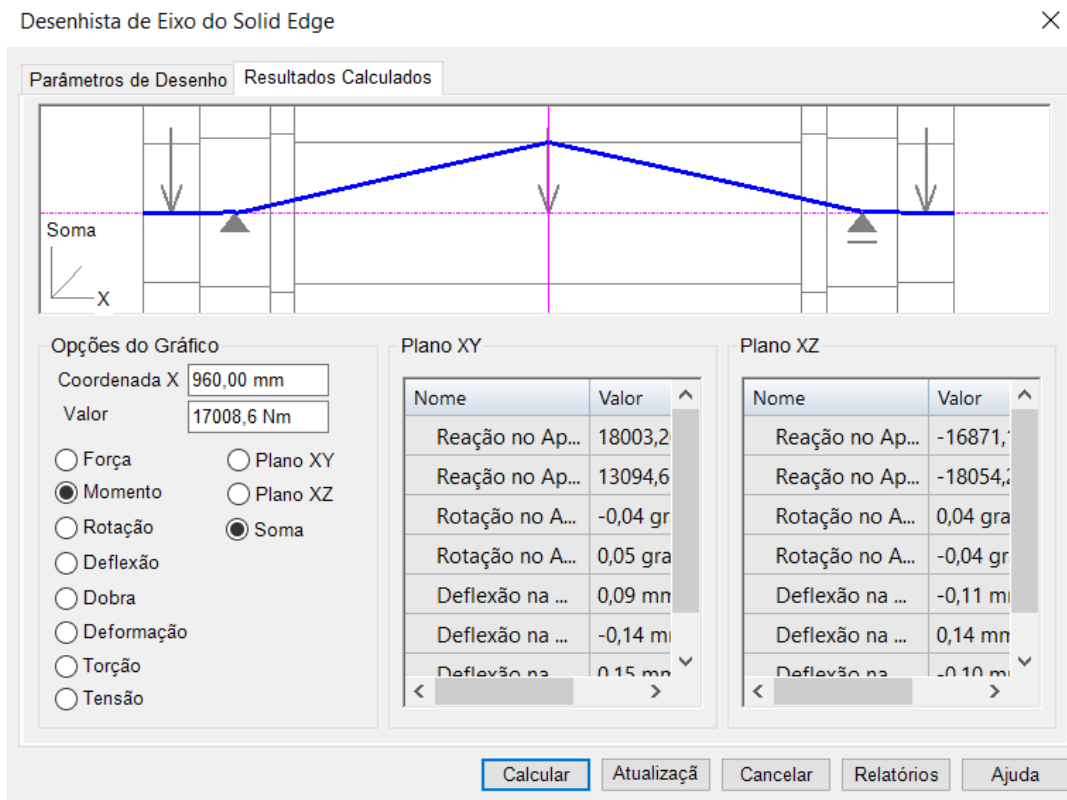
Fonte: Autoria própria.

Após a análise do diagrama de momento, construído pelo programa Solid Edge, ilustrado na Figura 16, foi constatado que os pontos críticos do cilindro de moagem são nas posições 960 mm (diâmetro 255mm), 1558mm (diâmetro 75mm) e 1618mm (diâmetro 70mm), onde os momentos valem 17008,6N.m, 3537N.m e 2159,6N.m, respectivamente.

Para o cálculo, foi considerado que o eixo é usinado em aço AISI 1045 temperado para se obter uma dureza de 450 Brinnel. Este material foi considerado pois, segundo Armellini (2004) em um estudo realizado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, os rolos são fabricados ferro fundido ou temperado, onde a dureza varia entre 500 a

600 Brinell para cilindros raiados, e de 450 a 480 para rolos lisos (caso do estudo deste trabalho).

Figura 15 - Diagrama do momento



Fonte: Autoria própria.

Com base nos resultados obtidos, foram calculados os fatores de segurança segundo Goodman e Von Mises nestas 3 seções. As fórmulas utilizadas no cálculo são encontradas na bibliografia de Budynas e Bismett (2014). A demonstração das fórmulas utilizadas será feita nas figuras a seguir.

Figura 16 - Entrada das variáveis para os cálculos dos fatores de segurança

Variáveis

```

d = 75*10.0**-3.0 # Diâmetro em mm
Sy = 350.0*10.0**6.0 # Tensão de escoamento em MPa
Sut = 420.0*10.0**6.0 # Tensão de ruptura em MPa
Ma = 1218.3 # Momento fletor de amplitude em N.m
Ta = 0.0 # Momento torsor de amplitude em N.m
Mm = 0.0 # Momento fletor médio em N.m
Tm = 229.87 # Momento torsor médio em N.m
a = 4.51 # Tabela 6.2
b = -0.265 # Tabela 6.2
Tc = 22.0 # Temperatura em °C
za = 2.326 # Variável de confiabilidade (Tabela 6.5)
kf = 1.0 # Fator de efeitos diversos
Kt = 2.7 # Fator de concentração de tensão (7-1)
Kts = 2.2 # Fator de concentração de tensão se cisalhamento (7-1)
q = 0.75 # Sensitividade de entalhe Figura 6-20
qs = 0.95 # Sensitividade de entalhe de cisalhamento Figura 6-21
n = 1.5 # Fator de segurança desejado

```

Fonte: Autoria própria.

Na Figura 16 são ilustradas as informações iniciais necessárias para a realização do cálculo. Estas informações foram obtidas através de tabelas encontradas na bibliografia escrita por Budynas e Bismett (2014), bem como através do projeto do eixo fornecido pela empresa e dos cálculos das reações no eixo já calculados acima.

Na Figura 17 são ilustradas as fórmulas utilizadas para encontrar os fatores k_a , k_b , k_c , k_d , k_e , K_f , K_{fs} , $S_{se}(S_e')$ e S_e . As fórmulas utilizadas podem ser encontradas na bibliografia escrita por Budynas e Bismett (2014). Os resultados obtidos por estes cálculos são utilizados posteriormente para o cálculo dos fatores de segurança.

Figura 17 - Fórmulas utilizadas para encontrar os fatores ka, kb, kd, ke, Kf e Kfs, e o limite de endurance crítico Se.

Fórmulas

```
# Limite de endurance SSe:
if Sut <= 1400.0*10.0**6.0:
    SSe = Sut*0.5
else:
    SSe = 700.0*10.0**6.0
# Fator de superfície ka:
ka= a*((420)**b)
# Fator de tamanho kb:
kb = 1.51*(d*1000.0)**-0.157
# Fator de carregamento kc:
# 1 para flexão
# 0.85 para axial
# 0.59 para torção pura
kc = 1
# Fator de temperatura:
if 37.0 <= Tc <= 540.0:
    kd = 0.9877+0.6507*(10**-3)*Tc-0.3414*(10.0**-5.0)*Tc**2.0
    +0.5621*(10.0**-8.0)*Tc**3.0-6.246*(10.0**-12.0)*Tc**4.0
else:
    kd = 1.0
# Fator de confiabilidade ke:
ke = 1 - 0.08*za
# Limite de endurance crítico:
Se = ka*kb*kc*kd*ke*kf*Sse
# Fator de concentração de tensão de fadiga Kf:
Kf = 1.0+ q*(Kt-1.0)
# Fator de concentração de tensão de fadiga de cisalhamento Kfs:
Kfs = 1.0 + qs*(Kts-1.0)
print (ka, kb, kc, kd, ke, kf, Kf, Kfs, Se)
```

Fonte: Autoria própria.

Figura 18 - Fórmulas utilizadas para os fatores de segurança de Goodman e Von Misses

Fatores de segurança

```
# Fator de Goodman:
ng = ((16.0/(pi*d**3.0))*((1.0/Se)*(4.0*(Kf*Ma)**2.0+3.0*(Kfs*Ta)**2.0)**0.5+
(1.0/Sut)*(4.0*(Kf*Mm)**2.0+3.0*(Kfs*Tm)**2.0)**0.5))**-1.0
# Fator de von Mises:
SIG = ((32.0*Kf*(Ma+Mm)/(pi*d**3.0))**2.0+3.0*(16.0*Kfs*(Ta+Tm)/(pi*d**3.0))**2.0)**0.5
nvm = Sy/SIG
print (ng, nvm)
```

Fonte: Autoria própria.

Na Figura 18 são ilustradas as fórmulas utilizadas para o cálculo dos fatores de segurança de Goodman e Von Misses, segundo Budynas e Bismett (2014).

A partir das fórmulas ilustradas anteriormente e dos dados dos pontos críticos do eixo, que foram obtidos através do programa Solid Edge, foram feitos os cálculos dos fatores de segurança para os 3 casos, estes resultados estão ilustrados nas figuras a seguir.

Figura 19 - Fatores de segurança da seção com 225mm de diâmetro.

Fatores de segurança

```
# Fator de Goodman:
ng = ((16.0/(pi*d**3.0))*((1.0/Se)*(4.0*(Kf*Ma)**2.0+3.0*(Kfs*Ta)**2.0)**0.5+
      (1.0/Sut)*(4.0*(Kf*Mm)**2.0+3.0*(Kfs*Tm)**2.0)**0.5))**-1.0
# Fator de von Mises:
SIG = ((32.0*Kf*(Ma+Mm)/(pi*d**3.0))**2.0+3.0*(16.0*Kfs*(Ta+Tm)/(pi*d**3.0))**2.0)**0.5
nvm = Sy/SIG
print (ng,nvm)
```

9.644590335331007 30.89329163129373

Fonte: Autoria própria.

Figura 20 - Fatores de segurança da seção com 75mm de diâmetro.

Fatores de segurança

```
# Fator de Goodman:
ng = ((16.0/(pi*d**3.0))*((1.0/Se)*(4.0*(Kf*Ma)**2.0+3.0*(Kfs*Ta)**2.0)**0.5+
      (1.0/Sut)*(4.0*(Kf*Mm)**2.0+3.0*(Kfs*Tm)**2.0)**0.5))**-1.0
# Fator de von Mises:
SIG = ((32.0*Kf*(Ma+Mm)/(pi*d**3.0))**2.0+3.0*(16.0*Kfs*(Ta+Tm)/(pi*d**3.0))**2.0)**0.5
nvm = Sy/SIG
print (ng,nvm)
```

2.0189400689353767 5.494613139246477

Fonte: Autoria própria.

Figura 21 - Fatores de segurança da seção com 70mm de diâmetro.

Fatores de segurança

```
# Fator de Goodman:
ng = ((16.0/(pi*d**3.0))*((1.0/Se)*(4.0*(Kf*Ma)**2.0+3.0*(Kfs*Ta)**2.0)**0.5+
      (1.0/Sut)*(4.0*(Kf*Mm)**2.0+3.0*(Kfs*Tm)**2.0)**0.5))**-1.0
# Fator de von Mises:
SIG = ((32.0*Kf*(Ma+Mm)/(pi*d**3.0))**2.0+3.0*(16.0*Kfs*(Ta+Tm)/(pi*d**3.0))**2.0)**0.5
nvm = Sy/SIG
print (ng,nvm)
```

2.694527681224151 7.299455033377225

Fonte: Autoria própria.

Com os resultados obtidos, foi concluído que o menor fator de segurança experimentado pelo cilindro está localizado na seção onde ele apresenta 75mm de diâmetro, com os valores de 2,02 para Goodman e 5,49 para Von Misses, utilizando como

referência um aço AISI 1045 endurecido para apresentar uma dureza de 450 Brinnel e também a força máxima entre os dois cilindros que foi estimada anteriormente. Este fator de segurança está dentro do intervalo recomendado por Juvinal e Marshek (2008) que afirma em sua bibliografia que o fator de segurança de Goodman indicado para este tipo máquina deve estar entre 2 e 2,5.

Depois de analisado os esforços presentes no eixo e seus fatores de segurança, será feita uma análise do tempo de vida do rolamento utilizado pela empresa.

4.5.2 ANÁLISE DO ROLAMENTO

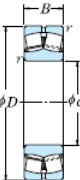


Nesta etapa do trabalho, será analisada a escolha feita pela empresa, no que se refere ao rolamento utilizado no cilindro de moagem.

A informação fornecida pela empresa, foi a de que o rolamento utilizado atualmente nos cilindros de moagem é o 22216EAE4, suas especificações técnicas podem ser vistas nas Figuras 22 e 23.

Figura 22 - Especificações do rolamento utilizado pela empresa parte 1

ROLAMENTOS AUTOCOMPENSADORES DE ROLOS

Diâmetro do Furo 60 – 85 mm

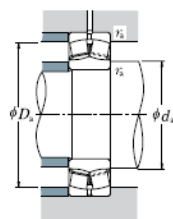
Furo Cilíndrico
Furo Cônico
Sem Ranhura e Furos de Lubrificação

d	Dimensões (mm)				Capacidade de Carga Básica (kgf)				Limite de Rotação (rpm)		Número do Furo Cilíndrico
	D	B	r	r	C _r	C _{0r}	C _r	C _{0r}	Graxa	Óleo	
60	95	26	1,1		98 500	141 000	10 000	14 400	3 600	4 500	*23012CE4 *22212EAE4 *21312EAE4 *22312EAE4
	110	28	1,5		178 000	174 000	18 100	17 800	4 800	6 000	
	130	31	2,1		238 000	244 000	24 200	24 900	3 800	4 800	
	130	46	2,1		340 000	340 000	34 500	35 000	3 600	4 500	
65	120	31	1,5		221 000	230 000	22 500	23 500	4 300	5 300	*22213EAE4 *21313EAE4 *22313EAE4
	140	33	2,1		264 000	275 000	27 000	28 000	3 600	4 500	
	140	48	2,1		375 000	380 000	38 000	38 500	3 200	4 000	
70	125	31	1,5		225 000	232 000	22 900	23 600	4 000	5 300	*22214EAE4 *21314EAE4 *22314EAE4
	150	35	2,1		310 000	325 000	32 000	33 500	3 200	4 000	
	150	51	2,1		425 000	435 000	43 500	44 000	3 000	3 800	
75	130	31	1,5		238 000	244 000	24 200	24 900	4 000	5 000	*22215EAE4 *21315EAE4 *22315EAE4
	160	37	2,1		310 000	325 000	32 000	33 500	3 200	4 000	
	160	55	2,1		485 000	505 000	49 500	51 500	2 800	3 600	
80	140	33	2		264 000	275 000	27 000	28 000	3 600	4 500	*22216EAE4 *21316EAE4 *22316EAE4
	170	39	2,1		355 000	375 000	36 000	38 000	3 000	3 800	
	170	58	2,1		540 000	565 000	55 000	58 000	2 600	3 400	
85	150	36	2		310 000	325 000	32 000	33 500	3 400	4 300	*22217EAE4 *21317EAE4 *22317EAE4
	180	41	3		360 000	395 000	37 000	40 000	3 000	4 000	
	180	60	3		600 000	630 000	61 000	64 000	2 400	3 200	

Fonte: Catálogo de rolamentos NSK.

Como se pode ver o diâmetro do furo do rolamento escolhido pela empresa tem 80 mm de diâmetro, porém a medida do cilindro da seção do cilindro onde o rolamento se encontra é 70 mm. A escolha por este rolamento pode ser explicada devido a ele ser um rolamento cônico, que por sua vez é fixado através de buchas de fixação.

Figura 23 - Especificações do rolamento utilizado pela empresa parte 2



Carga Dinâmica Equivalente

$$P = XF_1 + YF_2$$

$F_1/F_2 < \epsilon$		$F_1/F_2 > \epsilon$	
X	Y	X	Y
1	Y_2	0,67	Y_1

Carga Estática Equivalente

$$P_0 = F_1 + Y_0 F_2$$

Os valores de ϵ , Y_1 , Y_2 e Y_0 estão relacionados na tabela abaixo.

Rolamento Furo Cônico(*)	Dimensões de Encosto (mm)					Constante e	Fatores de Carga Axial			Massa (kg) aprox.
	d_2 mín.	d_2 máx.	D_2 máx.	d_2 mín.	r_s máx.		Y_1	Y_2	Y_0	
23012CKE4	67	68	88	85	1	0,26	3,9	2,6	2,5	0,68
*22212EAKE4	69	72	101	98	1,5	0,23	4,4	3,0	2,9	1,1
*21312EAKE4	72	87	118	117	2	0,22	4,5	3,0	3,0	1,98
*22312EAKE4	72	79	118	111	2	0,34	3,0	2,0	1,9	2,89
*22213EAKE4	74	80	111	107	1,5	0,24	4,2	2,8	2,7	1,51
*21313EAKE4	77	94	128	126	2	0,22	4,6	3,1	3,0	2,45
*22313EAKE4	77	84	128	119	2	0,33	3,0	2,0	2,0	3,52
*22214EAKE4	79	84	116	111	1,5	0,23	4,3	2,9	2,8	1,58
*21314EAKE4	82	101	138	135	2	0,22	4,6	3,1	3,0	3,0
*22314EAKE4	82	91	138	129	2	0,33	3,0	2,0	2,0	4,28
*22215EAKE4	84	87	121	117	1,5	0,22	4,5	3,0	3,0	1,64
*21315EAKE4	87	101	148	134	2	0,22	4,6	3,1	3,0	3,64
*22315EAKE4	87	97	148	137	2	0,33	3,0	2,0	2,0	5,26
*22216EAKE4	90	94	130	126	2	0,22	4,6	3,1	3,0	2,01
*21316EAKE4	92	109	158	146	2	0,22	4,4	3,0	2,9	4,32
*22316EAKE4	92	103	158	145	2	0,33	3,0	2,0	2,0	6,23
*22217EAKE4	95	101	140	135	2	0,22	4,6	3,1	3,0	2,54
*21317EAKE4	99	108	166	142	2,5	0,24	4,3	2,9	2,8	5,2
*22317EAKE4	99	110	166	155	2,5	0,33	3,1	2,1	2,0	7,23

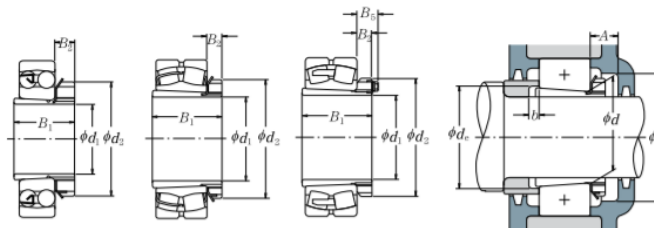
Fonte: Catálogo de rolamentos NSK.

Na Figura 24, são especificadas as escolhas dos rolamentos e das buchas de fixação através do diâmetro do eixo, podendo assim, através da análise do catálogo, comprovar a escolha do rolamento feita pela empresa.

Figura 24 - Tabela buchas de fixação para rolamentos

BUCHAS DE FIXAÇÃO PARA ROLAMENTOS

Diâmetro do Eixo 65 – 80 mm



Diâmetro do Eixo (mm)	Furo do Rolamento (mm)	Designação	Dimensões (mm)				Número da Bucha	Dimensões Limitantes (mm)				Massa (kg)	
			B ₁	d ₂	B ₂	B ₃		A min.	K min.	d _e min.	b min.		
65	75	1215K	+ H 215X	43	98	15	—	A 215X	23	110	80	5	0,70
	75	2215K	+ H 315X	55	98	15	—	A 315X	23	110	80	12	0,85
	75	22215EAKE4	+ H 315X	55	98	15	—	A 315X	23	110	80	12	0,85
	75	1315K	+ H 315X	55	98	15	—	A 315X	23	110	80	5	0,85
	75	21315EAKE4	+ H 315X	55	98	15	—	A 315X	23	110	80	5	0,85
	75	2315K	+ H2315X	73	98	15	—	A 2315X	23	110	82	5	1,05
75	22315EAKE4	+ H2315X	73	98	15	—	A 2315X	23	110	82	5	1,05	
70	80	1216K	+ H 216X	46	105	17	—	A 216X	25	120	85	5	0,85
	80	2216K	+ H 316X	59	105	17	—	A 316X	25	120	86	12	1,05
	80	22216EAKE4	+ H 316X	59	105	17	—	A 316X	25	120	86	12	1,05
	80	1316K	+ H 316X	59	105	17	—	A 316X	25	120	86	5	1,05
	80	21316EAKE4	+ H 316X	59	105	17	—	A 316X	25	120	86	5	1,05
	80	2316K	+ H2316X	78	105	17	—	A 2316X	25	120	87	5	1,3
80	22316EAKE4	+ H2316X	78	105	17	—	A 2316X	25	120	87	5	1,3	
75	85	1217K	+ H 217X	50	110	18	—	A 217X	27	128	90	6	1,0
	85	2217K	+ H 317X	63	110	18	—	A 317X	27	128	91	12	1,2
	85	22217EAKE4	+ H 317X	63	110	18	—	A 317X	27	128	91	12	1,2
	85	1317K	+ H 317X	63	110	18	—	A 317X	27	128	91	6	1,2
	85	21317EAKE4	+ H 317X	63	110	18	—	A 317X	27	128	91	6	1,2
	85	2317K	+ H2317X	82	110	18	—	A 2317X	27	128	94	6	1,45
85	22317EAKE4	+ H2317X	82	110	18	—	A 2317X	27	128	94	6	1,45	
80	90	1218K	+ H 218X	52	120	18	—	A 218X	28	139	95	6	1,15
	90	2218K	+ H 318X	65	120	18	—	A 318X	28	139	96	10	1,4
	90	22218EAKE4	+ H 318X	65	120	18	—	A 318X	28	139	96	10	1,4
	90	1318K	+ H 318X	65	120	18	—	A 318X	28	139	96	6	1,4
	90	21318EAKE4	+ H 318X	65	120	18	—	A 318X	28	139	96	6	1,4
	90	2318K	+ H2318X	86	120	18	—	A 2318X	28	139	99	6	1,7
90	23218CKE4	+ H2318X	86	120	18	—	A 2318X	28	139	99	6	1,7	
90	22318EAKE4	+ H2318X	86	120	18	—	A 2318X	28	139	99	6	1,7	

Observação O sufixo X indica bucha de fixação com rasgo estreito, que deve ser utilizada com a arruela de aba interna reta.

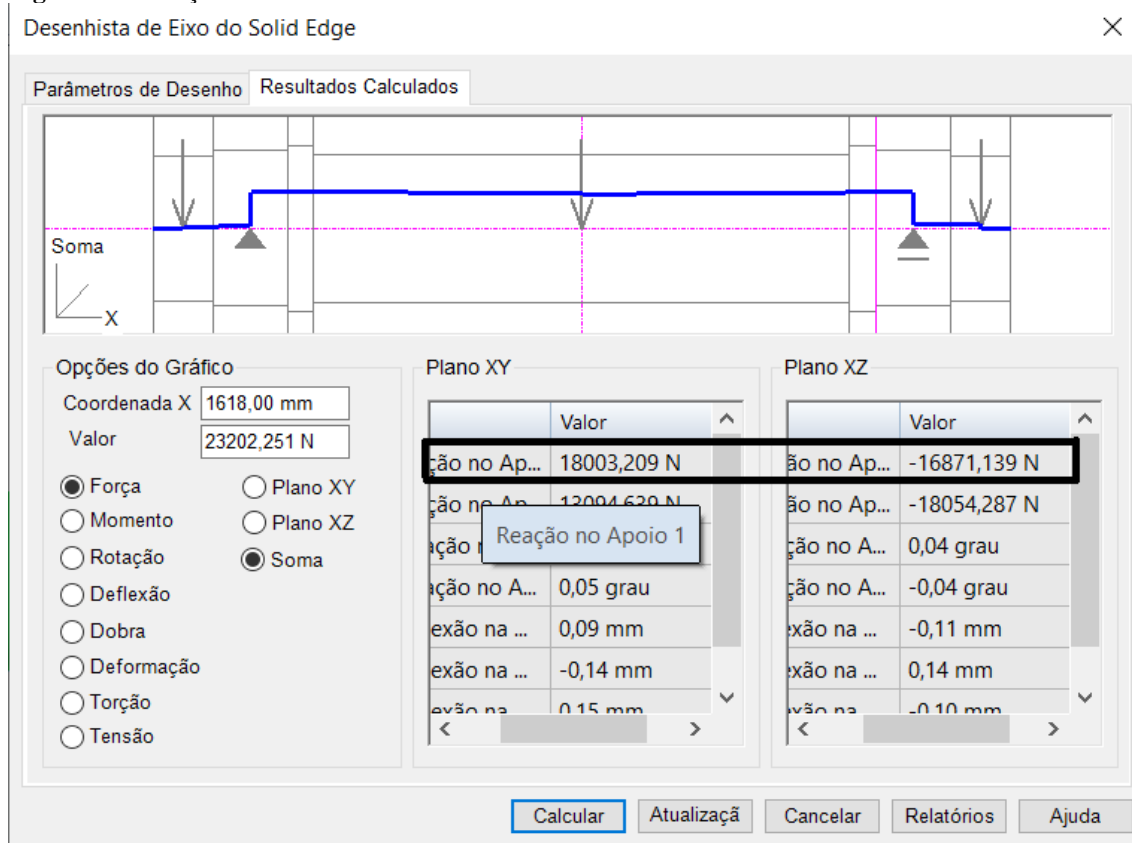
Fonte: Catálogo de rolamentos NSK.

Porém, este rolamento necessita de um encosto com diâmetro entre 90 e 94mm, e o diâmetro do encosto presente no projeto do eixo da empresa tem somente 75mm de diâmetro, o que indica uma montagem errada do rolamento, que tem como consequência uma fixação ineficiente do rolamento e uma diminuição na vida do rolamento.

Para a resolução deste problema é indicado que a empresa mude o projeto do eixo, mudando o diâmetro de 75mm para 90mm. Esta medida irá trazer uma fixação correta ao rolamento, e por consequência aumentará o tempo entre as trocas de rolamentos.

Com o objetivo de avaliar a vida esperada para o rolamento, quando este apresentar uma montagem correta, será feito o cálculo do tempo de vida dele, de acordo com as especificações do fabricante NSK.

Primeiramente, com este intuito, é necessário saber as reações nos mancais no cilindro de moagem, isto pode ser obtido pelos cálculos já realizados no tópico passado, a ilustração destes resultados pode ser vista na Figura 25.

Figura 25 – Reações nos mancais

Fonte: Autoria própria.

Analisando os resultados, se conclui que o mancal mais exigido é o mais à esquerda do desenho, devido a isso, as reações utilizadas para o cálculo da vida do rolamento serão as reações no mancal 1.

Também, com a finalidade de realizar este estudo, buscou-se no catálogo do fabricante dos rolamentos (NSK) o procedimento para o cálculo da vida do rolamento, o valor da sua constante (e), seus fatores de carga (X e Y) e sua capacidade de carga dinâmica (C), estes valores podem ser verificados nas Figuras 22 e 23.

Com todos os dados necessários em mãos, foi feito o cálculo da vida do rolamento através do auxílio da linguagem computacional Python. Os cálculos e as fórmulas utilizadas podem ser vistos na Figura 26.

Neste estudo, como não existem forças axiais, não há nenhuma reação axial no rolamento.

Figura 26 - Cálculos da vida nominal do rolamento

```

from sympy import *
from numpy import *
from math import *

e=0.22 #constante
X=1 # Fator de carga radial para e1 < e
Y=4.6 #Fator de carga axial para e1 < e
fy= 18003.209 #Reação no apoio no plano xy
fz= 16871.139 #Reação no apoio no plano xz
Fr= (fy**2+fz**2)**0.5 #Força radial no rolamento
Fa= 0 #Força axial no rolamento
C= 240000 #Capacidade de carga dinâmica
n= 550 #RPM do rolamento
e1= Fa/Fr
P= X*Fr+Y*Fa #Carga no rolamento
Z=C/P
fn= ((0.03*n))**(-3/10) #Coeficiente de velocidade
fh= fn*(Z) #Coeficiente de vida
Lh= 500*fh**(10/3) #Vida nominal em horas
La= Lh/(8760) #Vida nominal em anos
print (e1,fh,Lh,La)

0.0 4.195138106317031 59537.53910028593 6.796522728343143

```

Fonte: Autoria própria.

Como resultado, foi obtida uma vida nominal de aproximadamente 6,8 anos ou 59537 horas.

4.5.3 ANÁLISE DA CHAVETA

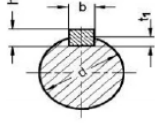
Também foi feita uma análise da chaveta que é utilizada para a fixação da engrenagem e da polia, onde foram encontradas as dimensões que devem ser utilizadas e, além disso, foi indicado o material que deve ser utilizado na fabricação desta e os fatores de segurança de cisalhamento e esmagamento com o uso do material sugerido.

As dimensões da chaveta foram encontradas seguindo a norma DIN-6885-1 A, que é ilustrada na Figura 27, através do diâmetro do eixo da empresa onde estão localizados a polia e a engrenagem.

Figura 27 - Dimensões da chaveta segundo a norma DIN-6885-1 A

SEGUNDO NORMA DIN 6885-1 A

Diâmetro do Eixo		Chaveta bxh	Rasgo		Comprimento															Máx.										
Acima de	Até		t ₁ (eixo)	t ₂	Min.	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	32	36	40	45		50	56	63	70	80	90	100	110	125	140
6	8	2 x 2	1,2	1	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	32	36	40	45	50	56	63	70	80	90	100	110	125	140	160
8	10	3 x 3	1,8	1,4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	32	36	40	45	50	56	63	70	80	90	100	110	125	140	160
10	12	4 x 4	2,5	1,8	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	32	36	40	45	50	56	63	70	80	90	100	110	125	140	160	180
12	17	5 x 5	3	2,3	10	12	14	16	18	20	22	25	28	32	36	40	45	50	56	63	70	80	90	100	110	125	140	160	180	200
17	22	6 x 6	3,5	2,8	14	16	18	20	22	25	28	32	36	40	45	50	56	63	70	80	90	100	110	125	140	160	180	200	220	250
22	30	8 x 7	4	3,3	18	20	22	25	28	32	36	40	45	50	56	63	70	80	90	100	110	125	140	160	180	200	220	250	280	320
30	38	10 x 8	5	3,3	22	25	28	32	36	40	45	50	56	63	70	80	90	100	110	125	140	160	180	200	220	250	280	320	360	400
38	44	12 x 8	5	3,3	28	32	36	40	45	50	56	63	70	80	90	100	110	125	140	160	180	200	220	250	280	320	360	400	450	500
44	50	14 x 9	5,5	3,8	36	40	45	50	56	63	70	80	90	100	110	125	140	160	180	200	220	250	280	320	360	400	450	500	560	630
50	58	16 x 10	6	4,3	45	50	56	63	70	80	90	100	110	125	140	160	180	200	220	250	280	320	360	400	450	500	560	630	700	800
58	65	18 x 11	7	4,4	50	56	63	70	80	90	100	110	125	140	160	180	200	220	250	280	320	360	400	450	500	560	630	700	800	900
65	75	20 x 12	7,5	4,9	56	63	70	80	90	100	110	125	140	160	180	200	220	250	280	320	360	400	450	500	560	630	700	800	900	1000
75	85	22 x 14	9	5,4	63	70	80	90	100	110	125	140	160	180	200	220	250	280	320	360	400	450	500	560	630	700	800	900	1000	1100
85	95	25 x 14	9	5,4	70	80	90	100	110	125	140	160	180	200	220	250	280	320	360	400	450	500	560	630	700	800	900	1000	1100	1200
95	110	28 x 16	10	6,4	80	90	100	110	125	140	160	180	200	220	250	280	320	360	400	450	500	560	630	700	800	900	1000	1100	1200	1300
110	130	32 x 18	11	7,4	90	100	110	125	140	160	180	200	220	250	280	320	360	400	450	500	560	630	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
130	150	36 x 20	12	8,4	100	110	125	140	160	180	200	220	250	280	320	360	400	450	500	560	630	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
150	170	40 x 22	13	9,4	110	125	140	160	180	200	220	250	280	320	360	400	450	500	560	630	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
170	200	45 x 25	15	10,4	125	140	160	180	200	220	250	280	320	360	400	450	500	560	630	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700
200	230	50 x 28	17	11,4	140	160	180	200	220	250	280	320	360	400	450	500	560	630	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800
230	260	56 x 32	20	12,4	160	180	200	220	250	280	320	360	400	450	500	560	630	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900
260	290	63 x 32	20	12,4	180	200	220	250	280	320	360	400	450	500	560	630	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
290	330	70 x 36	22	14,4	200	220	250	280	320	360	400	450	500	560	630	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100
330	380	80 x 40	25	15,4	220	250	280	320	360	400	450	500	560	630	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200
380	440	90 x 45	28	17,4	250	280	320	360	400	450	500	560	630	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300
440	500	100 x 50	31	19,5	280	320	360	400	450	500	560	630	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400



Fonte: Norma DIN-6885-1 A.

O comprimento escolhido foi o mínimo recomendado, ou seja, 50 mm.

A partir das dimensões da chaveta, das características do material sugerido (Latão vermelho C83400) e dos dados obtidos sobre as forças que agem no eixo, foram calculados os fatores de segurança de cisalhamento e esmagamento da chaveta. Os dados de entrada são os mesmos da Figura 12, utilizando um diâmetro de 65 mm; as fórmulas utilizadas e os resultados obtidos por este cálculo são ilustrados na Figura 24.

Figura 28 - Cálculos dos fatores de segurança de cisalhamento e esmagamento da chaveta.

Cisalhamento na chaveta

```
F=2.0*Tm/d
SSy=0.577*Sy
TAL=F/0.00083034 # Área da superfície da chaveta
nc=SSy/TAL
print (nc, F, SSy)
```

4.741665112889894 7072.923076923077 40390000.0

Esmagamento na chaveta

```
ESM=F/0.000352 # Área da Lateral da chaveta
ne=Sy/ESM
print (ESM, ne)
```

20093531.46853147 3.483708182885979

Fonte: Autoria própria.

Como resultado dos cálculos, obtivemos que o menor fator de segurança para a chaveta utilizando latão vermelho C83400 é de 3,48.

Este resultado nos mostra um problema, pois a chaveta deve apresentar um fator de segurança menor que o do cilindro e, esta, mesmo sendo fabricada com um material

bem inferior ao do cilindro, continua apresentando um fator de segurança maior que o deste, isso pode indicar ou um erro de projeto ou um sobredimensionamento na força entre os dois cilindros que foi feita anteriormente.

Para a resolução deste problema, se deve fabricar a chaveta com um material que apresente características físicas ainda mais inferiores que o latão, para que esta apresente um fator de segurança menor que do eixo.

4.5.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ANÁLISE DO EIXO E DE SEUS ELEMENTOS

Como visto na análise do mancal e de seus periféricos, o eixo utilizado pela empresa apresenta um diâmetro de encosto muito pequeno em relação ao recomendado para o rolamento utilizado, devido a este resultado, o cálculo da vida do rolamento (6,8 anos) e o intervalo entre as trocas do rolamento relatado pela empresa (próximo a 1 ano), se pode concluir que devido ao diâmetro do encosto do rolamento ser muito pequeno, o rolamento não apresenta uma fixação adequada, o que ocasiona um aumento nos esforços aplicados no rolamento, gerando uma vida menor do que a esperada para este.

Para a resolução deste problema, é proposto que o projeto do cilindro de moagem seja alterado, mudando o diâmetro do encosto de 75mm para 90mm. O que faria com que não houvesse mais fixação inadequada do rolamento, fazendo assim com que a vida do rolamento se aproxime dos 6,8 anos calculados anteriormente.

Depois de feitos estes cálculos, realizado as análises e sugerida a mudança do diâmetro de uma das seções do eixo, se tem todas as informações necessárias para a confecção de um plano de manutenção adequado para os rolamentos da empresa estudada.

4.6 APRESENTAÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO

A partir da análise do FMEA, da sugestão de mudança do diâmetro de uma das seções eixo, do cálculo da vida do rolamento, da análise da chaveta, e do estudo das manutenções mais adequadas para o quadro apresentado. Foi organizado um plano de manutenção para os rolamentos do banco de cilindro, que é demonstrado na Tabela 8. Neste plano, foram sugeridas a aplicação da manutenção preditiva e as ações que devem ser tomadas em cada caso e, o tempo entre as manutenções.

Tabela 8 - Plano de manutenção dos rolamentos.

Planilha do plano de manutenção		
Banco de Cilindros		
Item: Rolamentos		
Descrição Manutenção	Periodicidade	Material Para Estoque
Fazer análise de ferrografia no lubrificante dos rolamentos, se apresentar algum tipo de contaminação trocar o rolamento	Anualmente	2 Rolamentos 22216EAKE4 auto compensadores de rolos
Analisar se o rolamento está corretamente lubrificado, no caso negativo fazer a lubrificação adequada	Quadrimestralmente	Lubrificante utilizado nos rolamentos
Revisar a montagem do rolamento, se o mesmo não apresenta erros de montagem, ou se ele não apresentou mudança de posição com o tempo, no caso afirmativo de alguma das hipóteses, posicionar corretamente o rolamento	Quadrimestralmente	2 Rolamentos 22216EAKE4 auto compensadores de rolos
Inspecionar os rolamentos, verificando se eles apresentam iminência de falha. No caso afirmativo, fazer a troca do rolamento	Bienalmente	2 Rolamentos 22216EAKE4 auto compensadores de rolos

Fonte: Autoria própria.

4.7 MELHORIA CONTÍNUA

Depois de implantado o processo de RCM no item crítico dos bancos de cilindro, é necessário garantir que as atividades referentes ao programa estão sendo realizadas corretamente, com finalidade de que a RCM traga os benefícios esperados para a empresa. Com este fim, poderão ser realizadas auditorias e revisões, para certificar a aplicação da RCM.

Uma forma de avaliar se a RCM está trazendo benefícios para a empresa é através da verificação do aumento do tempo entre as trocas e a diminuição da quebra inesperada de rolamentos. Com a aplicação da RCM e a mudança do diâmetro do encosto do rolamento, a tendência é que o tempo entre trocas de rolamentos pela empresa aumente,

chegando mais próximo à vida nominal do rolamento calculada, mas como ainda não se tem dados em relação aos resultados obtidos pela empresa, poderão ser realizados novos estudos no futuro para a averiguação deste fato.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho propôs o estudo da aplicação da RCM no banco de cilindros de um moinho e trigo. Aplicando um modelo de RCM adaptado a realidade da empresa, e trazendo como resultado um plano de manutenção para o elemento mais crítico do banco de cilindros, que trará melhores benefícios em relação a manutenção. Durante este estudo foram analisadas contribuições teóricas e práticas na busca de se obter recursos científicos que fundamentassem o trabalho a ser desenvolvido.

Fazendo uma avaliação do ponto de vista teórico do trabalho, a pesquisa bibliográfica contemplou as visões, sobre RCM, de vários autores sobre o assunto e pesquisas já realizadas na área de manutenção e confiabilidade. Quanto a aplicação da RCM, foram discutidas as etapas a serem seguidas para a concretização dos objetivos tratados na metodologia da ferramenta.

Já na avaliação dos pontos práticos do trabalho, com o objetivo de se construir um plano de manutenção funcional para a empresa estudada, foram realizadas análises dos modos de falha através de um FMEA, e estudos no mancal e nos seus periféricos.

Como resultado dos pontos práticos, foi obtido que o rolamento mantido pela empresa deveria apresentar uma vida de 6,8 anos, porém a vida experimentada pelos rolamentos é de apenas 1 ano. Isso vem ocorrendo devido a um erro de montagem do rolamento, pois o diâmetro de encosto recomendado para o uso rolamento utilizado é de no mínimo 90mm, mas a dimensão do encosto hoje em dia na empresa é de 75mm, esta configuração causa uma má fixação do rolamento e, por consequência mais forças estarão agindo no rolamento, diminuindo sua expectativa de vida.

Para a resolução deste problema, foi sugerido para a empresa, a mudança do projeto do eixo utilizado, alterando o diâmetro da seção de 75mm para 90mm, se adequando assim as recomendações do fabricante, no que se refere ao encosto do rolamento. Essa ação deve resolver o problema da má fixação do rolamento, aumentando assim a vida útil deste, se aproximando da vida calculada na seção 4.5.2. Além disso, para garantir uma maior vida útil para os rolamentos, é recomendado que a empresa siga o plano de manutenção que foi apresentado na seção 4.6.

Uma forma de avaliar se a RCM trouxe benefícios para a empresa é por meio da verificação do aumento do tempo entre as trocas e a diminuição das quebras inesperadas de rolamentos. Com a aplicação da RCM e a mudança do diâmetro do encosto do

rolamento, a tendência é que o tempo entre trocas de rolamentos pela empresa aumente, chegando mais próximo à vida nominal do rolamento calculada, mas como ainda não se tem dados em relação aos resultados obtidos pela empresa, poderão ser realizados novos estudos posteriores para a averiguação deste fato.

O trabalho pode ser avaliado positivamente nos seguintes aspectos:

- Consolidação da RCM como um processo de análise das funções, falhas e identificação das atividades da manutenção;
- A grande importância da análise dos elementos mecânicos para a identificação das possíveis falhas, soluções e na ajuda da prevenção de futuros problemas;
- A observação da importância de cada etapa do trabalho para alcançar o objetivo final;
- A possibilidade da utilização do método seguido por este estudo para a realização de um trabalho similar em qualquer tipo de equipamento mecânico.

Durante o trabalho também foram observadas algumas dificuldades:

- A falta de histórico de manutenção por parte da empresa proporcionou informações limitadas sobre os problemas da empresa em relação a manutenção;
- A periodicidade de manutenção poderia ser mais efetiva com aplicação de métodos estatísticos e uma análise de dados mais profunda.

Para futuros trabalhos, além de observar as dificuldades enfrentadas neste trabalho, também se sugere que:

- Se crie um banco de dados do equipamento estudado, visando sua utilização em análises estatísticas e matemáticas, para determinar a periodicidade de manutenção de forma mais eficaz;
- Se avalie os resultados dos estudos no âmbito econômico.

Com base no que foi relatado, o trabalho proposto atingiu seu objetivo principal, que consistia em mostrar a aplicação da RCM em um banco de cilindros de uma fábrica de moinho de trigo, para diminuir suas falhas e aumentar sua confiabilidade.

REFERÊNCIAS

ABRAMAN (Associação Brasileira de Manutenção). Disponível em: <
<http://www.abraman.org.br>> acesso em: 17 Jul. 2012.

ARMELLINI, Adriane, **Farinha de Trigo**, <
http://www.ufrgs.br/alimentus1/feira/prcerea/farinha_tr/moagem-base.htm> acesso em:
07/11/2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Documento Nacional de
Manutenção: A Situação da manutenção no Brasil. Curitiba, 2011.

BAITINGER, Andreas. Curso internacional de moagem de trigo – FAG – Módulo 5 e 6
– Diagrama de moagem, 2012.

BARAN, Leandro Roberto, MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE
APLICADA NA REDUÇÃO DE FALHAS: UM ESTUDO DE CASO, p. 78, .

BERGMAN, W. J. **Reliability centered maintenance (RCM) applied to electrical
switchgear**. IEEE Power Engineering Society Summer Meeting. Conference
Proceedings (Cat. No.99CH36364), v. 2, 1999.

BOURSON, Yvon. Curso internacional de moagem de trigo – FAG – Módulo 2 -A
limpeza dos cereais nas indústrias de cereais, 2012.

BOURSON, Yvon. Curso internacional de moagem de trigo – FAG – Módulo 3 –
Limpeza e pré-limpeza do grão do trigo, 2013.

BUDYNAS, Richard; NISBETT, Keith, **Shigley's Mechanical Engineering Design**, 10
edition. New York, NY: McGraw-Hill Education, 2014.

Catálogo Geral NSK(1).pdf, disponível em: <[http://nsk.com.br/upload/file/Cat%C3%A1logo%20Geral%20NSK\(1\).pdf](http://nsk.com.br/upload/file/Cat%C3%A1logo%20Geral%20NSK(1).pdf)>. Acesso em 06 novembro 2019.

CAVALCANTE, C. A. V. & ALMEIDA, A. T de. Modelo multicritério de apoio a decisão para o planejamento de manutenção preventiva utilizando PROMETHEE II em situações de incerteza. *Pesquisa Operacional*. Vol. 25

CLARKE, P. The argument against “ Streamlined ” Reliability-centred Maintenance (RCM). Disponível em: . Acesso em: 26 de abril. 2019.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (1968). *DIN 6885-1. Parallel keys, deep pattern, dimensions and application*. Berlin.

DE AGUIAR CAVALCANTI, Roberto, **Aplicação de RCM em um sistema de rebobinamento para processamento de película plástica flexível**, disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/4969>>, acesso em: 22 maio 2019.

ENTOLETER. **hasdegirmen**, 2019. Disponível em <<http://hasdegirmen.com/enhasereoldurucu.html>>. Acesso em 10 de dez. de 2019.

ETI, M. C.; OGAJI, S. O. T.; PROBERT, S. D. Strategic maintenance-management in Nigerian industries. **Applied Energy**, v. 83, n. 3, p. 211–227, mar. 2006a.

ETI, M. C.; OGAJI, S. O. T.; PROBERT, S. D. Development and implementation of preventive-maintenance practices in Nigerian industries. **Applied Energy**, v. 83, n. 10, p. 1163–1179, out. 2006b.

ETI, M. C.; OGAJI, S. O. T.; PROBERT, S. D. Reducing the cost of preventive maintenance (PM) through adopting a proactive reliability-focused culture. **Applied Energy**, v. 83, n. 11, p. 1235–1248, nov. 2006c.

FOGLIATO, Flavio; RIBEIRO, Jose Luis Duarte, **Confiabilidade e manutenção industrial**, [s.l.]: Elsevier Brasil, 2009.

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **TECDOC 1590: Application of Reliability Centred Maintenance to Optimize Operation and Maintenance in Nuclear Power Plants**. Vienna, Austria, 2007a.

HARBS, W. Theron. **A moagem superfina em um moinho agitador “um processo físico para a obtenção de nanopartículas”**. Disponível em <<https://docplayer.com.br/41603957-A-moagem-superfina-em-moinho-agitador.html>>. Acesso em 10 de dez. de 2019.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF OPERATIVE MILLERS. **Correspondence course in flour milling**. Overland Park, USA, ANO.

JOHNSTON, D. C. **Measuring RCM implementation**. In: Annual Reliability and Maintainability Symposium. 2002 Proceedings (Cat. No.02CH37318). **Anais...Cape Canaveral, USA: 2002**.

JUVINALL, R, C.; MARSHEK, K, M.: **Fundamentos do Projeto de Componentes de Máquinas**. 4º Edição. LTC, 2008.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio, **Manutenção: Função Estratégica**, Edição: 4ª. [s.l.]: QualityMark, 2012.

LIMA, Jorge Roque, **CONCEITOS DA METODOLOGIA RCM APLICADOS A UMA UNIDADE DE BRITAGEM MÓVEL D DE FERRO**, p. 65, .

MIRSHAWKA, Victor; OLMEDO, Napoleão Lopes. **Manutenção – Combate aos custos da não eficácia – A vez do Brasil**. São Paulo: Editora Makron Books do Brasil Ltda., 1993.

MKANDAWIRE, Burnet; IJUMBA, Nelson; SAHA, Akshay, **Transformer risk modelling by stochastic augmentation of reliability-centred maintenance**, [s.l.: s.n.], 2015.

MOUBRAY, J. **Manutenção Centrada em Confiabilidade - RCM II**. 2. ed. Lutterworth: Aladon Ltd, 1997.

MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance: second edition**. 2ª. ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.

NETO, Antônio; SANTOS, Candice. **A Cultura do Trigo, 2017**. Conab (Companhia Nacional de Abastecimento).

O QUE É MANUTENÇÃO PREVENTIVA?. **Engeteles**, 2019. Disponível em: <https://engeteles.com.br/o-que-e-manutencao-preventiva/>. Acesso em 10 de dez. de 2019.

PLANSIFTER GALILEO PLATINUM. **idugel**, 2019. Disponível em < <https://www.idugel.com.br/linha-platinum/cevejarias/detalhe/plansifter-galileo-platinum>>. Acesso em 10 de dez. de 2019.

QUINTELLA, Luciano Confort, UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”, p. 157, .

ROMERO, Francisco Matheus Santoro, APLICAÇÃO DE ESTUDO DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE EM UM SEPARADOR CENTRÍFUGO, p. 57, .

SANGATIBERGA. **Banco de cilindros prime**. Disponível em < <https://www.sangatiberga.com.br/produtos/moinhos/banco-de-cilindros>>. Acesso em 10 de dez. de 2019.

SIQUEIRA, Y. P. D. S. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implantação**. 1ª (Reimpressão). ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS (2009). *SAE J1739. Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA), Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA)*. USA.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia, **Pcm - Planejamento E Controle Da Manutenção**, Edição: 6ª . [s.l.]: QUALITYMARK, 2014[s.d.].

WANG, Cheng-Hua &HWANG, Sheue-Ling. **A stochastic maintenance management model with recovery factor**. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v. 10, n. 2, p. 154-164, Bingley (UK), abr-jun. 2004.