



ANÁLISE DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DO RCM EM UM MOINHO MARTELO BUHLER EM INDÚSTRIA DE PRODUÇÃO DE FARELO E FARINHA DE TRIGO

Autores: João Pedro Conceição de Assis¹

Matheus Bezerra Lima²

Orientador: Prof. MBA João Carlos de Freitas Loureiro³

RESUMO

Este trabalho é um estudo sobre a viabilidade da implantação da manutenção centrada em confiabilidade (RCM) em um moinho martelo, equipamento de alta criticidade no processo de moagem de trigo. A metodologia foi proposta com o objetivo de otimizar o processo de manutenção atualmente implantado, reduzindo os custos, aumentando a eficiência e confiabilidade do ativo. Utilizando como fundamentação teórica a obra de diversos autores especialistas, foi feita uma análise do histórico de manutenção do moinho martelo e uma análise de modos de falha e efeitos para chegar às conclusões. Após os estudos foi possível observar os benefícios que podem ser gerados pela implantação do RCM. Os resultados podem servir como base de estudo para implantação da metodologia em outros ativos, tanto na indústria de trigo como em outras similares.

Palavras-chaves: *Manutenção, RCM, confiabilidade, moinho martelo, viabilidade, análise de modos de falha e efeitos, FMEA.*

ABSTRACT

This work is a study on the viability of implementing Reliability-Centered Maintenance (RCM) in a hammer mill, a highly critical equipment in the wheat grinding process. The methodology was proposed with the objective of optimizing the currently implemented maintenance process, reducing costs, and increasing the efficiency and reliability of the asset. Drawing on the theoretical foundations of various expert authors, an analysis of the maintenance history of the hammer mill and a failure mode and effects analysis were conducted to reach the conclusions. After the studies, it was possible to observe the benefits that can be generated by implementing RCM. The results can serve as a basis for studying the implementation of the methodology in other assets, both in the wheat industry and in similar industries.

Keywords: *Maintenance, RCM, reliability, hammer mill, viability, failure mode and effects analysis, FMEA*

¹UNIFACS. Departamento de Engenharia. Turma 2023.1 do Curso de Engenharia Mecânica. E-mails:ju_jpassis@hotmail.com

²UNIFACS. Departamento de Engenharia. Turma 2023.1 do Curso de Engenharia Mecânica. E-mails:matheusbzlima@gmail.com

³UNIFACS. Departamento de Engenharia. Professor e orientador dos Cursos de Engenharia. E-mail: joao.loureiro@unifacs.br



1. INTRODUÇÃO

A indústria alimentícia enfrenta diversos desafios em relação à manutenção de seus equipamentos, especialmente aqueles considerados de criticidade elevada. A metodologia de manutenção centrada na confiabilidade (RCM - *Reliability-centered maintenance*) pode se mostrar uma abordagem eficaz para aumentar a disponibilidade dos equipamentos e reduzir os custos de manutenção. O moinho martelo Buhler, utilizado em uma indústria de fabricação de farinha de trigo e farelo, é um ativo de criticidade elevada (classe A), tendo impacto direto na produção. Atualmente, o moinho carece de uma manutenção preventiva e de um plano de manutenção efetivo, pois são realizadas somente inspeções de rotina com atuação corretiva quando encontrada alguma anormalidade.

A metodologia RCM é baseada na análise da função e dos modos de falha dos equipamentos, permitindo a definição de ações de manutenção preventiva com o objetivo de maximizar a disponibilidade e confiabilidade do equipamento. Dessa forma, a implementação do RCM no moinho martelo pode permitir a identificação das falhas potenciais antes que elas ocorram, evitando paradas não programadas do equipamento e reduzindo a necessidade de peças de reposição, o que contribui para a redução dos custos de manutenção.

Portanto, o objetivo deste artigo é analisar a viabilidade da implementação do RCM no moinho martelo, com a finalidade de desenvolver um plano de manutenção mais eficiente. Através da análise dos resultados da implementação do RCM, serão avaliados os efeitos na disponibilidade do equipamento, nos custos de manutenção e na lucratividade da produção. Este artigo é importante para profissionais de manutenção da indústria alimentícia que buscam melhorar a eficiência da produção e reduzir os custos de manutenção, bem como para pesquisadores interessados em análises de viabilidade da implementação do RCM em diferentes tipos de equipamentos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 – História da Manutenção

A manutenção existe na humanidade desde que passamos a utilizar objetos, de ferramentas simples a armas de caça que com o uso necessitavam de conserto. Apesar de existir há muito tempo, até o final da segunda guerra mundial a manutenção pouco evoluiu em relação aos processos e metodologias, e se manteve consistindo apenas da execução de reparos quando necessários. A história da manutenção começou a mudar no período de industrialização e a partir de então, segundo Siqueira (2014), p. 4-6, é dividida em 3 gerações: A primeira geração aconteceu de 1940 a 1950, com a mecanização incipiente da indústria. Na segunda geração, de 1950 a 1975, houve a disseminação das linhas de produção contínuas e o surgimento das técnicas de manutenção preventivas e preditivas. Já a terceira geração evoluiu a partir

de 1975, com a automação da indústria e a elevação do nível de dependência da sociedade aos processos industriais. O mesmo autor também fala que nessa geração, a sociedade passou a exigir maior disponibilidade, confiabilidade, vida útil, qualidade e garantia de desempenho dos produtos, além da preservação do meio ambiente e da segurança dos usuários de processos e produtos industriais. A metodologia RCM, entre outras, surgiu como resultado dessas exigências.

De acordo com Kardec e Nascif (2010), p. 4, existe também a quarta geração da manutenção, iniciada no final do milênio passado, que mantém a disponibilidade como uma das medidas mais importantes de performance da manutenção, mas que adiciona certas práticas como a análise de falhas e coloca como tendência a redução da manutenção preventiva ou programada, uma vez que estes tipos de manutenção impactam negativamente a produção. A figura 1 ilustra as principais características, mudanças e evoluções ao longo das 4 gerações de manutenção.

Figura 1- Tabela sobre a evolução da manutenção.

EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO								
	Primeira Geração	Segunda Geração	Terceira Geração	Quarta Geração				
Ano	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
Aumento das expectativas em relação à Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Conserto após a falha 	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidade crescente • Maior vida útil do equipamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Maior confiabilidade • Maior disponibilidade • Melhor relação custo-benefício • Preservação do meio ambiente 	<ul style="list-style-type: none"> • Maior confiabilidade • Maior disponibilidade • Preservação do meio ambiente • Segurança • Influir nos resultados do negócio • Gerenciar os ativos 				
Visão quanto à falha do equipamento	<ul style="list-style-type: none"> • Todos os equipamentos se desgastam com a idade e, por isso, falham 	<ul style="list-style-type: none"> • Todos os equipamentos se comportam de acordo com a curva da banheira 	<ul style="list-style-type: none"> • Existência de 6 padrões de falhas (Nowlan & Heap e Moubray) Ver Capítulo 5 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzir drasticamente falhas prematuras dos padrões A e F (Nowlan & Heap e Moubray) Ver Capítulo 5 				
Mudança nas técnicas de Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Habilidades voltadas para o reparo 	<ul style="list-style-type: none"> • Planejamento manual da manutenção • Computadores grandes e lentos • Manutenção Preventiva (por tempo) 	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoramento da condição • Manutenção Preditiva • Análise de risco • Computadores pequenos e rápidos • Softwares potentes • Grupos de trabalho multidisciplinares • Projetos voltados para a confiabilidade • Contratação por mão de obra e serviços 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da Manutenção Preditiva e Monitoramento da Condição • Minimização nas Manutenções Preventiva e Corretiva não Planejada • Análise de Falhas • Técnicas de confiabilidade • Manutenibilidade • Engenharia de Manutenção • Projetos voltados para confiabilidade, manutenibilidade e Custo do Ciclo de Vida. • Contratação por resultados 				

2.2 - Tipos de Manutenção

Atualmente, a manutenção tem como seu principal objetivo manter a disponibilidade dos ativos, uma vez que quanto maior a disponibilidade, maior a produção, e conseqüentemente maior o lucro, a garantia desta disponibilidade é obtida com a eliminação de falhas ou anomalias nos equipamentos, gerando assim uma produção de maior qualidade e aumentando a eficiência das máquinas. É importante entender quais os tipos de manutenção existentes e suas características para melhor compreender alguns conceitos. A manutenção, como demonstrado na Figura 2, se divide nos seguintes tipos:

Figura 2 - Fluxograma sobre os tipos de manutenção



Fonte: Abraman (2005)

Manutenção corretiva:

Segundo Xenos (1998), p. 23, é uma modalidade de manutenção que é realizada sempre depois do acontecimento da falha, O mesmo autor cita que apesar da ação corretiva ser mais barata do que a preventiva se tratando exclusivamente do custo da manutenção, temos sempre que levar em consideração os prejuízos por parada de produção, o que normalmente torna a manutenção corretiva extremamente indesejada, uma vez que caso a parada da produção seja longa, poderá gerar prejuízos significativos para a empresa.

Manutenção preventiva:

De acordo com Viana (2002), p. 10, todo serviço de manutenção planejada realizada em máquinas que não estejam em falha pode ser classificado como manutenção preventiva, ou seja, em condições operacionais. Grande parte das indústrias atualmente trabalham preferencialmente com a manutenção preventiva



visando diminuir o número de corretivas nas plantas industriais. Segundo Tavares (2005), p. 109, com uma manutenção preventiva eficiente, pode-se obter 30% de redução de custos de manutenção em relação aos custos de manutenção corretiva. Xenos (1998), p. 24 afirma: “A manutenção preventiva, feita periodicamente, deve ser a atividade principal de manutenção em qualquer empresa.”

Manutenção preditiva:

Siqueira (2014), p. 12-13 diz: “A Manutenção Preditiva busca a previsão ou antecipação da falha; medindo parâmetros que indiquem a evolução de uma falha a tempo de serem corrigidas.” Segundo Xenos (1998), p. 25, a manutenção preditiva permite que os componentes sejam utilizados até os seus limites, algo que a preventiva não permite, uma vez que os itens são substituídos com base em calendário, e não em informações obtidas do monitoramento.

Segundo Kardec e Nascif (2010), p. 46, “No tocante à produção, a Manutenção Preditiva é a que oferece melhores resultados, pois intervém o mínimo possível na planta.”

Portanto, é um tipo de manutenção que apesar de possuir um custo elevado de implantação, produz excelentes resultados.

Outros tipos de Manutenção:

Apesar de existirem outros tipos de manutenção, eles não serão citados neste artigo e, portanto, não serão abordados.

2.3 – Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM)

A metodologia do RCM teve seu início devido a pesquisas iniciadas pela indústria bélica americana e pela automação industrial que vinha evoluindo de forma rápida após o período da Segunda Guerra Mundial.

Segundo Siqueira (2014), p. 6-7, o principal evento atribuído à origem da RCM foi a certificação da linha de aeronaves Boeing 747 nos EUA, que por conta da inviabilidade do uso de outras metodologias tradicionais de manutenção devido a sua complexidade, motivou a criação de uma comissão com o objetivo de rever a aplicabilidade dos métodos existentes a estas aeronaves. Siqueira (2014), p. 7, fala também que, o relatório criado por esta comissão introduziu conceitos de uma nova metodologia, que viria a ser chamada de RCM, a aplicação deste novo método garantiu a certificação para operação comercial do Boeing 747 e virou o padrão da indústria de aeronaves. Posteriormente vindo a ser aplicado também em indústrias elétricas e nucleares, devido às similaridades e exigências de segurança.

A metodologia RCM, segundo Siqueira (2014), p. 19, possui 7 etapas de implantação, são elas:

- 1) Seleção do sistema e Coleta de informações
- 2) Análise de modos de falha e efeitos



- 3) Seleção de funções significantes
- 4) Seleção de atividades aplicáveis
- 5) Avaliação da efetividade das atividades
- 6) Seleção das atividades aplicáveis e efetividade
- 7) Definição da periodicidade das atividades.

2.4 - Conceitos importantes

Confiabilidade: Segundo Kardec e Nascif (2010), p. 106, é a capacidade de um item realizar a função desejada em condições e intervalos de tempo específicos.

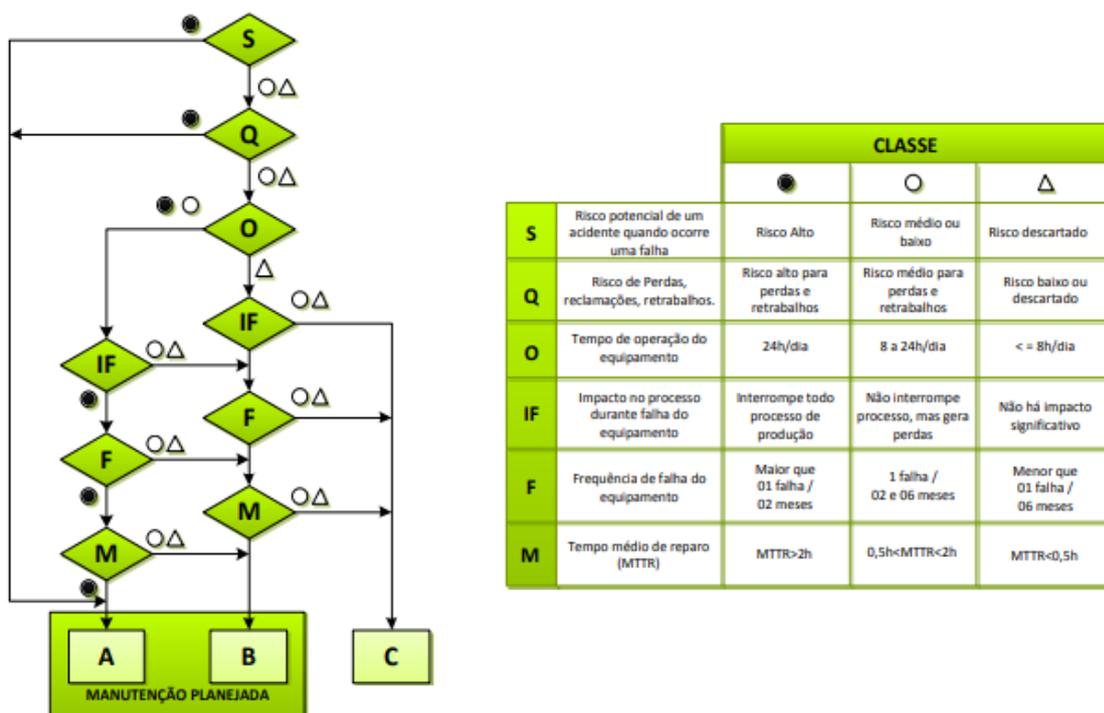
Disponibilidade: Kardec e Nascif (2010), p. 112, afirmam que a disponibilidade é a capacidade de um item estar em condições de realizar uma certa função em um dado momento ou período determinado, levando-se em consideração a combinação de alguns aspectos como a confiabilidade e o suporte de manutenção.

Classificação por criticidade ABC:

Segundo o Japan Institute for Plant Maintenance - JIPM (1995), deve-se seguir um fluxograma, mostrado na Figura 3, para definir o grau de criticidade de uma máquina dentro de um processo produtivo, que pode ser classificado como A, B ou C:

- Classe A: Equipamentos altamente críticos, sendo fundamental uma política de manutenção preventiva com o uso de técnicas preditivas e preventivas, focadas na redução de falhas e custos utilizando metodologias RCM ou FMECA (Failure mode, effects, and criticality analysis);
- Classe B: Equipamentos importantes ao processo, sendo aceitável a utilização de técnicas de manutenção preventivas ou preditivas, equipes para melhoria, análise das falhas pelo setor de manutenção;
- Classe C: Equipamento com baixa relevância ou impacto ao processo, seguindo o uso das técnicas de manutenção corretivas e preventivas em equipamentos, o monitoramento das falhas focando na redução das recorrências.

Figura 3 - Fluxograma para determinação da criticidade de um ativo.



Fonte: JIPM (1995)

2.5 - Processo de Moagem do Trigo

O processo de moagem do trigo, apesar de sempre seguir os mesmos princípios, é diferente para cada empresa, uma vez que cada uma deseja adquirir vantagens tecnológicas e assim conseguir diferenciais produtivos e comerciais. O processo que será apresentado, portanto, será um processo genérico, de forma a proteger informações críticas que poderiam ser utilizadas por empresas concorrentes.

A moagem do trigo passa por uma sequência de etapas essenciais para a obtenção da farinha utilizada na produção de diversos produtos alimentícios. Essas etapas são geralmente realizadas em indústrias especializadas em processamento de grãos e possuem um alto nível de automação para garantir a qualidade e a eficiência do processo.

Como vemos na Figura 4, a primeira etapa é a recepção do trigo bruto, que chega através de caminhões e é levado por transportadores de corrente para a etapa posterior. A segunda etapa é a pré-limpeza para retirar impurezas, como pedras, palhas e outros grãos. Essa etapa é importante para evitar danos às máquinas e garantir a qualidade final do produto e pode ser realizada mais de uma vez conforme a necessidade.

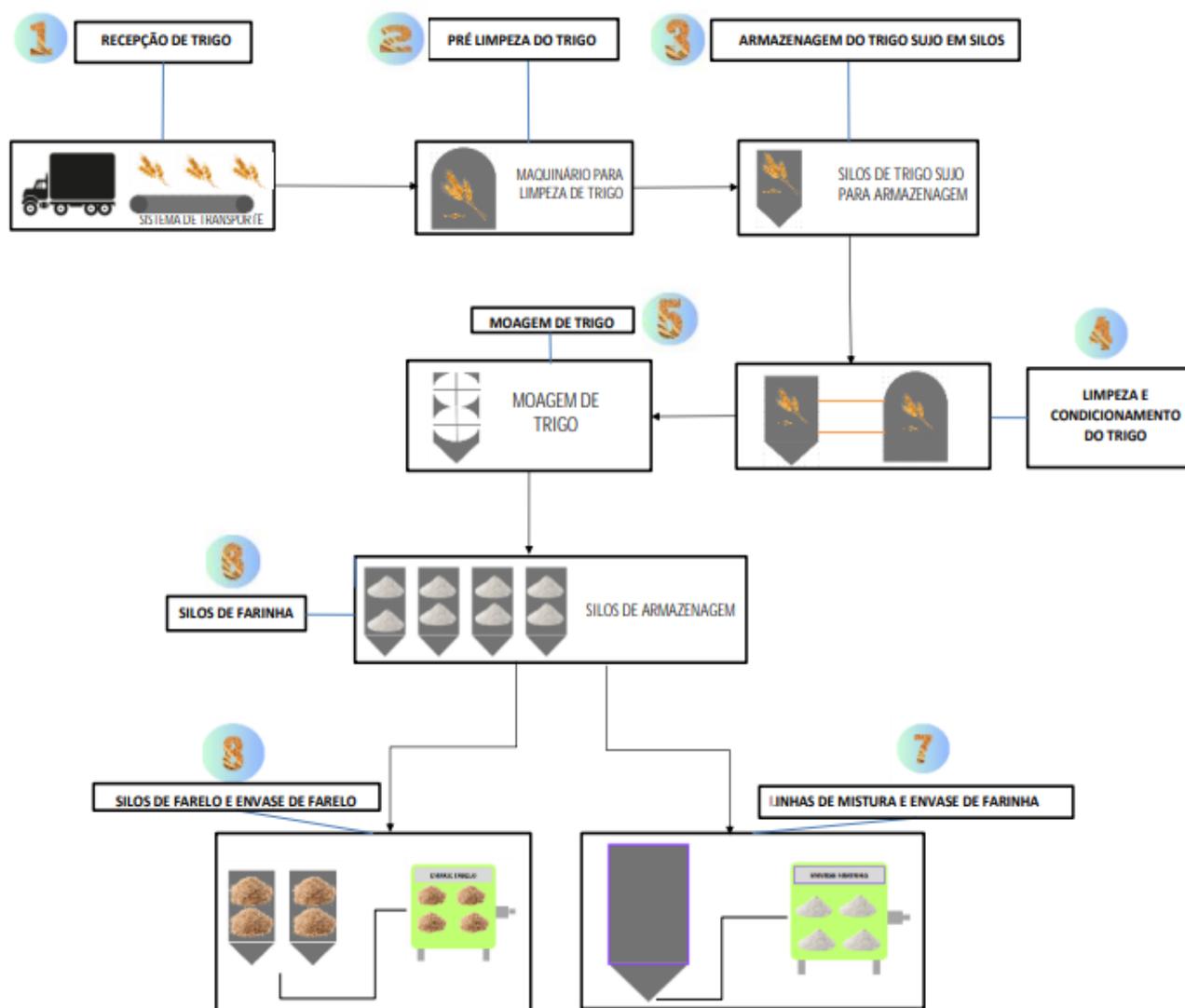
Na terceira etapa, o trigo, ainda sujo, é armazenado em silos separados para posterior limpeza e condicionamento, que configuram a quarta etapa. A limpeza é feita para retirar as impurezas restantes e garantir que o trigo esteja em condições ideais para a moagem. O condicionamento consiste em umedecer o trigo para torná-lo mais maleável e facilitar o processo de moagem.

A quinta etapa é a moagem propriamente dita, que é feita em moinhos de diversos tipos. Nesse processo, o trigo é moído por bancos de cilindros que giram em sentidos iguais moendo o trigo que é transformado em farinha. O tipo de moagem e as características da farinha produzida variam de acordo com a finalidade do produto.

Após a moagem, o processo chega à sexta etapa, no qual a farinha é armazenada em silos para que possa ser misturada se houver necessidade e envasada na etapa seguinte. A mistura é importante para garantir uma qualidade uniforme do produto e pode envolver a mistura de farinhas de diferentes tipos ou procedências. O envase é feito em embalagens próprias para a comercialização da farinha.

Durante o processo de moagem, esquematizado na Figura 4 a seguir, é gerado também o farelo, que é separado da farinha e armazenado em silos próprios. O farelo é utilizado como ingrediente em alimentos para animais ou em outros produtos alimentícios.

Figura 4 - Etapas da moagem do trigo



Fonte: Elaborado pelos autores.

3. METODOLOGIA

3.1 - Seleção do sistema e Coleta de informações.

Nesta etapa faremos uma descrição do equipamento escolhido para implementação do RCM, serão coletadas informações sobre o ativo a partir do seu manual de operação fornecido pela empresa fabricante e diagramas de funcionamento a partir do projeto de engenharia, também fornecido pela fabricante, além disso serão obtidas informações sobre a instalação, sobre a planta de operação e suas características, assim como um histórico de manutenção do ativo.

3.2 - Análise de modos de falha e efeitos.

Para esta análise, será utilizada a metodologia de análise de modos de falha e efeitos, ou FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), na qual são documentados os seguintes pontos utilizando a ferramenta de árvore de falhas e eventos:

- Funções desempenhadas pelo sistema;
- Falhas associadas a cada função;
- Modos como as falhas se originam;
- Efeitos provocados pelas falhas;
- Severidade de cada efeito.

3.3 - Seleção de funções significantes.

Após a etapa anterior, serão utilizados aspectos essenciais do RCM, como segurança e economia do processo de manutenção para determinar as falhas que apresentam riscos e custos significantes para o processo. As falhas que não forem consideradas significantes serão analisadas somente até esta etapa do estudo.

3.4 - Seleção de atividades aplicáveis.

Nesta etapa, será determinado para cada falha significativa, se a manutenção preventiva é aplicável para corrigir ou amenizar as consequências observadas na árvore de falhas. Caso nenhuma falha tenha uma atividade preventiva possível de ser implementada, ou que seja economicamente viável será determinada alguma outra ação alternativa para tratativa da falha.

3.5 - Projeção da efetividade das atividades

A avaliação da efetividade das implementações não poderá ser feita como recomendado no RCM, uma vez que não será possível efetuar as implementações no ativo analisado, portanto será feita uma projeção dos resultados esperados e dos seus possíveis impactos na planta.

3.6 - Seleção das atividades aplicáveis e efetividade

A partir da projeção realizada, será analisado quais das implementações têm probabilidade de serem efetivas e aplicáveis para cada falha, e será compilada uma lista das atividades que irão compor o plano de manutenção do ativo.

3.7 - Definição da periodicidade das atividades

Através da análise de confiabilidade, e manutenibilidade, e de produtividade, além da otimização do plano de manutenção, será estabelecido a definição da periodicidade das atividades a serem executadas. Esses dados serão levantados através do histórico do ativo, que é composto das ordens de serviço realizadas.

4. DESENVOLVIMENTO

No desenvolvimento, serão executadas as etapas apresentadas na metodologia, que são essenciais para a implantação do RCM no moinho martelo escolhido para análise. Para a etapa de seleção do sistema e coleta de informações foram realizadas visitas presenciais à planta de operação onde o ativo se encontra instalado e em funcionamento, o equipamento escolhido foi o moinho martelo da fabricante Buhler, modelo MJSA. Para a coleta de informações, foi obtido o manual de operação e o histórico de manutenção do período de 2015 até o mês de fevereiro de 2023.

O moinho martelo Buhler, representado na Figura 5, é uma máquina de criticidade A no processo de moagem do trigo, uma vez que ele participa da transição entre a etapa da recepção e da moagem. Como já mencionado no item 2.5, o trigo passa por diversas etapas antes de chegar ao moinho, como a recepção, pré-limpeza, armazenagem, limpeza e condicionamento. É importante lembrar que a limpeza é essencial para retirar impurezas, como pedras e palhas, e garantir que o trigo esteja em condições ideais para a moagem.

O moinho martelo Buhler é acoplado a um separador de partículas pesadas e a um separador magnético no sistema de entrada para retirar partículas metálicas do trigo durante a etapa de limpeza e condicionamento. Essa etapa é fundamental para reduzir a degradação dos batedores do moinho martelo e a possibilidade de geração de faíscas decorrentes do atrito com os mesmos. O moinho martelo Buhler é responsável por reduzir a seção dos grãos de trigo, auxiliando assim o processo de moagem e produção da farinha.

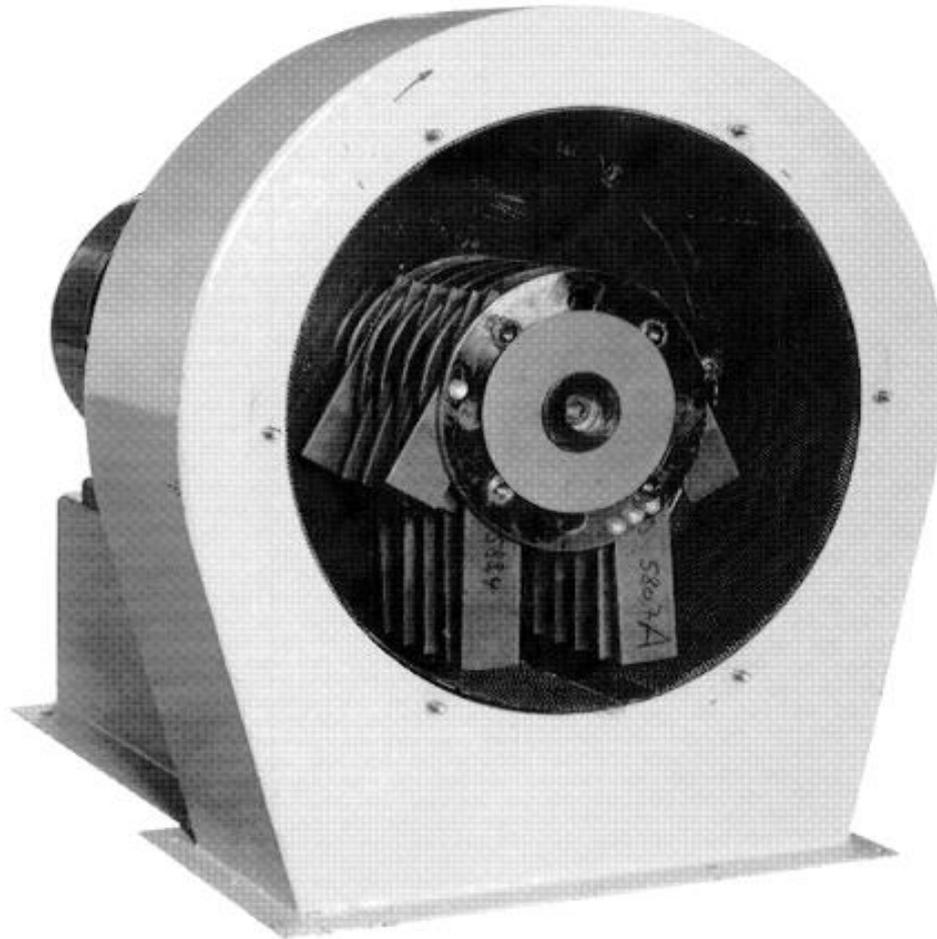
De acordo com o manual de operação, o moinho martelo Buhler é considerado de funcionamento simples, o rotor de batedores é acoplado diretamente ao eixo do motor e a sua carcaça é de aço maciço e fixada ao solo por pés de borracha para minimizar vibrações. O rotor pode ser operado nos dois sentidos.

O trigo bruto chega ao moinho por um alimentador e entra pela porta frontal no rotor de batedores, no qual o produto é repetidamente atingido pelos mesmos e tem sua seção reduzida até o tamanho no qual ele consegue atravessar a tela que cerca completamente o rotor, após atravessar a tela, o trigo é coletado por um sistema de vácuo e/ou gravidade que leva o trigo até o processo seguinte.

Observa-se que na Figura 5, com o moinho martelo desligado, os batedores se encontram pendurados no eixo, de forma que todos estão orientadas para baixo,

uma vez que o motor entra em funcionamento, os batedores passam a se posicionar de forma radial e a se movimentar de forma circular juntamente com o eixo.

Figura 5 - Moinho martelo Buhler aberto



Fonte: Buhler

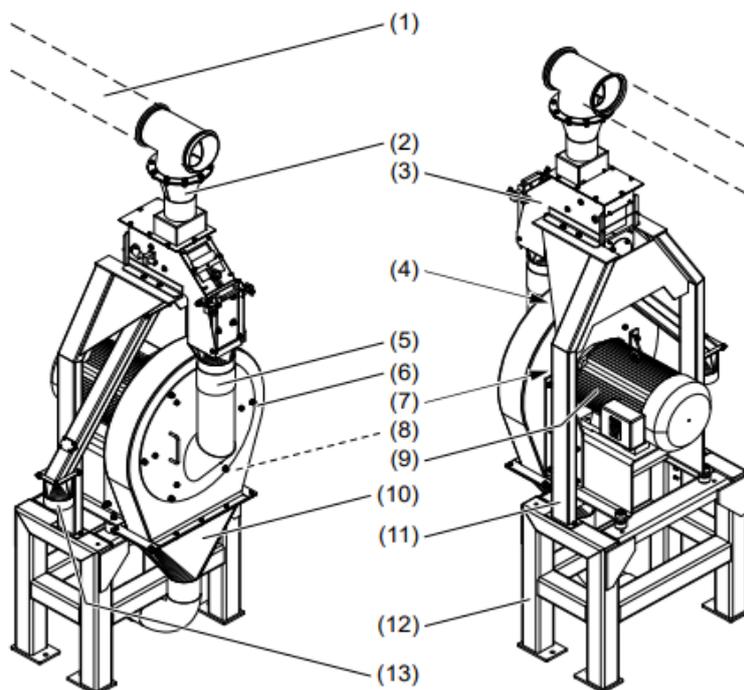
A Figura 6 é uma fotografia do moinho martelo analisado durante uma das visitas realizadas à planta, podemos observar em cor laranja o motor elétrico que rotaciona o eixo do rotor, e em cor branca o moinho martelo, no qual se encontram os batedores, como representadas na Figura 5. Podemos observar também alguns mostradores de temperatura instalados recentemente com o objetivo de facilitar o acompanhamento do equipamento em operação. Comparando a Figura 6, uma fotografia do moinho martelo, com a Figura 7, um diagrama da fabricante, podemos observar que apesar de algumas pequenas diferenças estruturais, todos os componentes podem ser observados, constatando uma instalação visualmente adequada.

Figura 6 - Foto do moinho martelo analisado



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 7 - Diagrama do moinho Martelo Buhler



- | | |
|---|---|
| (1) Transportador de rosca tubular | (8) Área de moagem |
| (2) Entrada de produto | (9) Motor de acionamento |
| (3) Separador de partículas pesadas MTSN | (10) Tremonha de saída |
| (4) Somente na versão ATEX: Sensor de oscilação | (11) Suporte do separador de partículas pesadas |
| (5) Guarnição | (12) Armação |
| (6) Moinho de martelo MJSA | (13) Saída de partículas pesadas |
| (7) Sonda de temperatura | |

Fonte: Buhler

Após a coleta de informações através de análise do manual, observação do ativo instalado na planta de operação, consulta aos operadores e funcionários de manutenção responsáveis pela máquina, foi feita uma análise de modos de falhas e efeitos, representada pela tabela 1. Para o desenvolvimento do FMEA, os valores de ocorrência, severidade e detecção foram preenchidos a partir do levantamento do histórico de manutenção do moinho martelo estudado no período de 2014 a 2023 e dos relatos de funcionários de manutenção e operação da planta. A partir destes valores, o valor do RPN (Risk Priority Number) foi calculado.

Tabela 1 - Análise de modos de falha e efeitos - FMEA

PONTO DE FALHA			ANÁLISE DE FALHA			AVALIAÇÃO				AÇÃO PREVENTIVA OU PREDITIVA
EQUIPAMENTO	FUNÇÃO DO EQUIPAMENTO	COMPONENTE	MODOS DE FALHA	EFEITO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	O C O R R Ê N C I A	S E V E R I D A D E	D E T E C Ç Ã O	R P N	
MOTOR	TRANSMITIR TORQUE AO SISTEMA	ROLAMENTO	DESGASTE	SOBRECARGA NO MOTOR, INEFICIÊNCIA OPERACIONAL, ALTAS TEMPERATURAS POR ATRITO E VIBRAÇÕES EXCESSIVAS	FALTA DE LUBRIFICAÇÃO	5	6	3	90	ANÁLISE TERMOGRÁFICA OU DE VIBRAÇÃO / INCLUIR NO PLANO DE INSPEÇÕES UMA INSPEÇÃO TRIMESTRAL DO MOTOR
		EIXO	DESBALANCEAMENTO	VIBRAÇÕES EXCESSIVAS	ATRITO DO ROTOR COM A TELA OU CARÇAÇA	3	6	2	36	VERIFICAR A CORRETA DISTRIBUIÇÃO DAS CHAPAS DO MOINHO MARTELO / VERIFICAR FOLGAS DE PARAFUSOS DE FIXAÇÃO
		MANCAL	DESGASTE	DESGASTE NO EIXO E VIBRAÇÕES EXCESSIVAS	FALTA DE LUBRIFICAÇÃO	3	8	6	144	ELABORAR CRONOGRAMA DE LUBRIFICAÇÃO
		RETENTORES	INFILTRAÇÃO DE POEIRA E VAZAMENTO DE LUBRIFICANTES	DESGASTE ELEVADO DOS COMPONENTES INTERNOS: EIXO E ROLAMENTOS	RESSECAMENTO DA BORRACHA	5	8	2	80	SUBSTITUIÇÃO DO RETENTOR PREVENTIVAMENTE COM A FREQUÊNCIA ADEQUADA
ENTRADA DE PRODUTO	ABASTECIMENTO DO MOINHO MARTELO COM PRODUTO	SEPARADOR MAGNETICO	PASSAGEM DE PARTÍCULAS METÁLICAS PARA O ROTOR	RISCO DE SEGURANÇA POR GERAÇÃO DE FAGULHAS, DESGASTE PREMATURO DOS MARTELOS	FALTA DE LIMPEZA DA MANTA MAGNÉTICA	7	9	2	126	ELABORAÇÃO DE PLANO DE INSPEÇÃO E LIMPEZA PARA MANTA MAGNÉTICA
		VALVULA GAVETA	PARADA DA PASSAGEM DO AR ASPIRADO	INTERRUPÇÃO DA SEPARAÇÃO DE PARTÍCULAS PESADAS E LEVES, CAUSANDO INTERRUPÇÃO DA PRODUÇÃO	OBSTRUÇÃO OU TRAVAMENTO DAS VALVULAS	6	9	3	162	INCLUIR NO PLANO DE MANUTENÇÃO INSPECAO NAS VALVULAS DE ALIMENTAÇÃO DO MOINHO MARTELO
		VALVULA ARTICULADA DE ASPIRAÇÃO				6	9	3	162	
AREA DE MOAGEM / REDUÇÃO DE SEÇÃO DOS GRÃOS	REDUÇÃO DE DIAMETRO DO TRIGO SUJO	MARTELOS OU BATEDORES	DESGASTE IRREGULAR	INEFICIÊNCIA DA REDUÇÃO DA SESSÃO DOS GRÃOS	NÃO INVERSÃO DO SENTIDO DE ROTAÇÃO DOS MARTELOS	8	8	6	384	IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA AUTOMÁTICO DE INVERSÃO DE ROTAÇÃO DOS MARTELOS
			DESGASTE PREMATURO	INEFICIÊNCIA DA REDUÇÃO DA SESSÃO DOS GRÃOS	PASSAGEM DE MATERIAIS FERROSOS PARA OS MARTELOS	2	8	6	96	INCLUIR NO PLANO DE MANUTENÇÃO INSPECAO NO SEPARADOR MAGNÉTICO
		TELAS	RASGO NA TELA	PASSAGEM DE GRÃOS COM SESSÃO MAIS ELEVADA DO QUE O ACEITÁVEL	POSICIONAMENTO INCORRETO DOS MARTELOS	9	10	3	270	AJUSTAR CORRETAMENTE A POSIÇÃO DOS MARTELOS E INSPECIONAR PERIODICAMENTE A MESMA
			DESGASTE PREMATURO	PASSAGEM DE GRÃOS COM SESSÃO MAIS ELEVADA DO QUE O ACEITÁVEL	PASSAGEM DE MATERIAIS FERROSOS PARA OS MARTELOS	3	6	4	72	INCLUIR NO PLANO DE MANUTENÇÃO INSPECAO NO SEPARADOR MAGNÉTICO
		TUBOS ESPAÇADORES OU BUCHAS	DESGASTE	VIBRAÇÃO ELEVADA POR FOLGA NOS MARTELOS, OCASIONANDO DESGASTE DAS PEÇAS E DESBALANCEAMENTO NO EIXO	DESGASTE POR ATRITO COM O TRIGO NO INTERIOR DO MOINHO	8	8	8	512	INSPEÇÃO PERIÓDICA DO ESTADO DOS ESPAÇADORES

Fonte: Elaborado pelos autores

Além do FMEA, foi realizada uma análise do histórico de manutenção, na qual 3 componentes do sistema foram isolados como maiores responsáveis pelo custo financeiro da manutenção, como mostram as figuras 8, 9 e 10. As especificações dos componentes citados foram retiradas das ordens de serviço analisadas:

Tela do moinho martelo (CHAPA EM AÇO 2X1860X205MM CALANDRADA ABERTA Ø 596M);

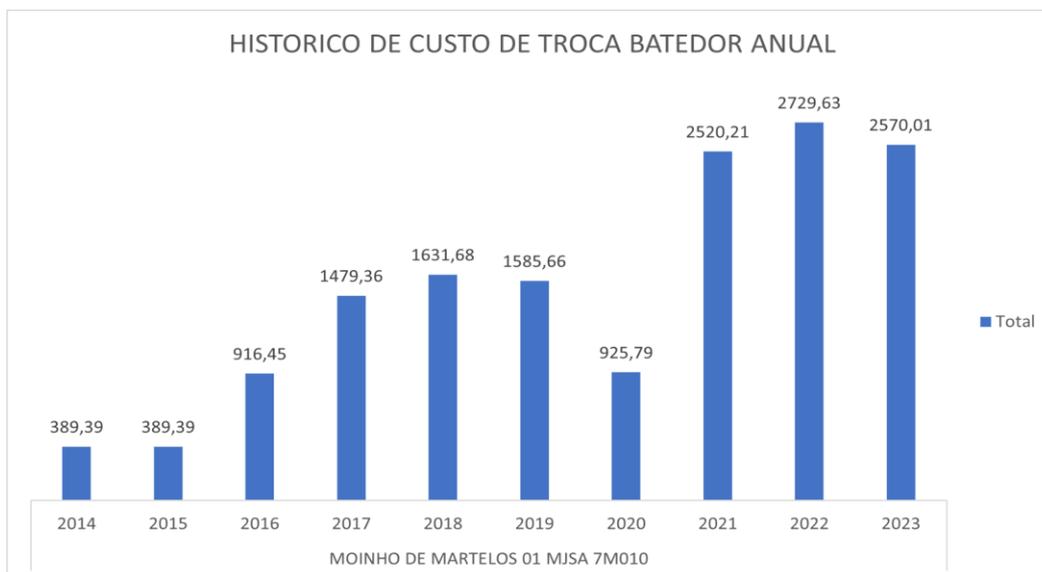
Figura 8 - Histórico de custo de troca de tela anual em reais.



Fonte: Elaborado pelos autores

Batedor do moinho martelo (BATEDOR PARA MJSA 60/18 215X60X6 1L=31 MJSA-50025-);

Figura 9 - Histórico de custo de troca de batedor anual em reais.



Fonte: Elaborado pelos autores

Tubo espaçador moinho martelo (TUBO ESPAÇADOR MJSA 50001-020 BUHLER):

Figura 10 - Histórico de custo de troca de tubo espaçador anual em reais.



Fonte: Elaborado pelos autores

O equipamento analisado, como anteriormente citado, possui alta criticidade no processo de operação de moagem do trigo, mas apesar da criticidade elevada, não existe um plano de manutenção rígido e criterioso em operação para ele atualmente. No momento de elaboração do estudo, foi averiguado que eram realizadas apenas inspeções periódicas e manutenções corretivas planejadas e não planejadas. É evidente nos gráficos dos custos de manutenção uma grande variação

dos valores, dificultando o planejamento financeiro e evidenciando a falta de um plano de manutenção mais criterioso que gere um cenário mais previsível. Na Figura 11, observamos o custo geral de manutenção do moinho martelo, com uma queda significativa em 2020 por conta da pandemia, que diminuiu bastante a escala de produção, mas mesmo considerando apenas os outros anos é evidente uma grande variação nos valores. O motivo destas grandes variações não é conhecido e não foi estudado nem registrado pela empresa que gere o equipamento.

Figura 11 - Histórico de custo de manutenção do moinho martelo.



Fonte: Elaborado pelos autores

Com os valores colhidos, foram elaboradas as Tabelas 2 e 3 para calcular os valores percentuais do custo de manutenção de cada um dos 3 componentes em relação ao valor total da manutenção do moinho martelo.

Tabela 2 – Valores de manutenção por ano, em reais.

Ano	Espaçadores	Batedores	Tela	Moinho Martelo
	Custo (Reais)			Custo Total (Reais)
2014	1188,08	389,39	829,22	2406,69
2015	1419,63	389,39	1202,53	5131,46
2016	3241,64	916,45	2101,11	7399,14
2017	5769,81	1479,36	5574,41	16635,14
2018	6851,01	1631,68	17749,14	27605,33
2019	4886,75	1585,66	6090,95	13447,44
2020	2297,98	925,79	4095,02	8520,76
2021	2452,90	2520,21	10121,42	15132,91
2022	3913,07	2729,63	15961,26	24406,51
2023	7107,20	2570,01	7561,26	18199,27
Soma	39128,07	15137,57	71286,32	138884,65
	125551,96			

Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 3 – Valores de manutenção por ano, em porcentagem do custo total.

	Espaçadores	Batedores	Tela
Ano	Porcentagem		
2014	49,37	16,18	34,45
2015	27,67	7,59	23,43
2016	43,81	12,39	28,40
2017	34,68	8,89	33,51
2018	24,82	5,91	64,30
2019	36,34	11,79	45,29
2020	26,97	10,87	48,06
2021	16,21	16,65	66,88
2022	16,03	11,18	65,40
2023	39,05	14,12	41,55
Média	28,17	10,90	51,33
	90,40		

Fonte: Elaborado pelos autores

Ao longo do período analisado pelos registros de manutenção, os 3 componentes escolhidos são responsáveis por um custo de 90,4% do orçamento total do moinho martelo, sendo os tubos espaçadores(buchas) responsáveis por, em média, 28,17% dos custos, os batedores por 10,9% dos custos e as telas por 51,33% dos custos totais de manutenção do ativo. Esses valores médios, porém, não mostram a grande variação da parcela de custo de cada componente. Pudemos reparar por exemplo que os espaçadores foram responsáveis por 49,37% dos custos em 2014, porém em 2022 apenas por 16,03%, essa inconstância nos valores observados é algo que evidencia a falta de planejamento de manutenção no equipamento. Analisando a tabela 1, os 3 modos de falha com valores mais elevados do RPN são os mesmos que apresentam as maiores despesas, desta forma ficam eles definidos como modos de falha significativos para a análise de implantação do RCM.

Reduzindo a análise de modos de falhas para abordar somente as falhas significativas e aplicáveis, obtemos a tabela 4:

Tabela 4: Tabela dos modos de falha significativos

PONTO DE FALHA			ANÁLISE DE FALHA			AVALIAÇÃO				AÇÃO PREVENTIVA
EQUIPAMENTO	FUNÇÃO DO EQUIPAMENTO	COMPONENTE	MODOS DE FALHA	EFEITO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	OCCORRÊNCIA	SEVERIDADE	DETECÇÃO	RPN	
AREA DE MOAGEM / REDUÇÃO DE SEÇÃO DOS GRÃOS	REDUÇÃO DE DIAMETRO DO TRIGO SUJO	MARTELOS OU BATEDORES	DESGASTE IRREGULAR	INEFICIÊNCIA DA REDUÇÃO DA SESSÃO DOS GRÃOS	NÃO INVERSÃO DO SENTIDO DE ROTAÇÃO DOS MARTELOS	8	8	6	384	IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA AUTOMÁTICO DE INVERSÃO DE ROTAÇÃO DOS MARTELOS
		TELAS	RASGO NA TELA	PASSAGEM DE GRÃOS COM SESSÃO MAIS ELEVADA DO QUE O ACEITÁVEL	POSICIONAMENTO INCORRETO DOS MARTELOS	9	10	3	270	AJUSTAR CORRETAMENTE A POSIÇÃO DOS MARTELOS E INSPECIONAR PERIODICAMENTE A MESMA
		TUBOS ESPAÇADORES OU BUCHAS	DESGASTE	VIBRAÇÃO ELEVADA POR FOLGA NOS MARTELOS, OCASIONANDO DESGASTE DAS PEÇAS E DESBALANCEAMENTO NO EIXO	DESGASTE POR ATRITO COM O TRIGO NO INTERIOR DO MOINHO	8	8	8	512	INSPEÇÃO PERIÓDICA DO ESTADO DOS ESPAÇADORES

Fonte: Elaborado pelos autores

Cada modo de falha aplicável deve ser analisado de maneira detalhada para que seja possível propor soluções.

Primeiramente em relação à ocorrência de rasgos na tela, principal custo de manutenção. No caso do ativo estudado, é decorrente do contato indevido com os batedores do moinho enquanto ele está em operação, para que ocorra este contato, os batedores não estão respeitando o distanciamento correto para a tela, ou seja, não estão devidamente centralizados. Algumas soluções podem ser implantadas: Instalação de um sensor de vibração para que qualquer desbalanceamento e desalinhamento do eixo que possa ocasionar contato entre os batedores e a tela seja identificado prontamente e resolvido anteriormente à falha, evitando assim a manutenção corretiva não planejada. Medição periódica da posição dos batedores mediante abertura das tampas da carcaça, com alimentação de um banco de dados para observar a evolução dos dados e impedir que a folga atinja níveis perigosos. Caso seja observada uma evolução na folga dos batedores, analisar a situação dos tubos espaçadores, que serão abordados na sequência do trabalho.

Em relação ao desgaste dos batedores é importante ressaltar que por indicação do manual, devem ser substituídos com uma frequência determinada devido ao desgaste natural do uso. Portanto, para reduzir os custos, convém realizar um controle de estoque adequado, proporcionando compras periódicas e programadas, de forma que o valor da compra possa ser reduzido via orçamentos em diferentes fornecedores ou por compras em maior quantidade. Pode acontecer do desgaste dos batedores acontecer com uma velocidade maior do que a prevista no manual, uma sugestão é realizar uma verificação periódica do comprimento dos batedores através da abertura das tampas, os batedores novos possuem 215 mm de comprimento, caso os batedores estejam comprimento de 210 mm devido ao desgaste, eles devem ser substituídos imediatamente. Outra solução é realizar a análise vibratória por sensores permanentes na máquina para identificar as vibrações

causadas por desgaste dos batedores, o que possibilita uma segurança adicional às inspeções periódicas. Verificar também periodicamente o estado do sistema de entrada (separação de partículas por gravidade e separador magnético), para garantir que não estão entrando partículas pesadas nem metálicas para o rotor, o que ocasiona desgaste acelerado em todos os componentes internos, incluindo os batedores, as telas e os tubos espaçadores. Como observado no histórico de custos, o gasto com batedores, apesar de elevados, é muito inferior ao custo com as telas e tubos espaçadores, e uma vez que os batedores são responsáveis pela redução da seção das partículas do trigo, uma boa manutenção preventiva nos mesmos pode reduzir significativamente os custos de substituição de telas e de tubos espaçadores.

O desgaste natural dos tubos espaçadores, por sua vez, é de ocorrência natural por conta do atrito com o trigo bruto no interior do moinho, mas pode ser reduzido garantindo que os batedores estão em boas condições. É essencial que não entrem em contato com partículas metálicas nem com partículas pesadas, portanto o separador de partículas pesadas e o separador magnético precisam estar em boas condições de operação. Caso os tubos espaçadores estejam desgastados, os batedores ficarão folgados e possivelmente entrarão em contato com a tela, causando danos na mesma.

Para todos os modos de falha significativos, também é recomendado inverter o sentido de giro do rotor a cada início de operação, uma vez que a prática irá proporcionar um desgaste natural uniforme aos batedores, tubos espaçadores e tela, aumentando suas vidas úteis e diminuindo custos de manutenção, uma outra atividade recomendada é a inversão da tela do moinho martelo gerando uma economia por conta da reutilização da tela.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o estudo dos modos de falha e suas possíveis soluções, podemos afirmar que é viável a implantação do RCM no ativo estudado, uma vez que existem modos de falha significativos nos quais a metodologia seria de grande valia, proporcionando redução de custos de manutenção e aumento da segurança da operação. A partir deste resultado é necessário elaborar um plano de manutenção e garantir que ele seja seguido rigidamente.

Com base nas soluções propostas, no estudo do histórico de manutenção, relatos de funcionários da operação e manutenção que possuem familiaridade com o moinho martelo e nas recomendações do manual da fabricante Buhler, foi definida a periodicidade de cada atividade que deverá compor o plano de manutenção, conforme mostra a tabela 5:

Tabela 5: Periodicidade das atividades implantadas

ATIVIDADE	PERIODICIDADE
Instalação de sensores de vibração para monitoramento.	Execução única
Acompanhamento dos indicadores de vibração	Diário
Medição da posição dos martelos	Verificação semanal
Inspeção do batedor	Verificação trimestral
Verificação do comprimento dos batedores	Verificação mensal
Inspeção no sistema de entrada de produto (Separador magnético / separação de partículas por gravidade)	Verificação mensal
Inversão do sentido de giro do rotor	A cada início de operação inverter o sentido
Inspeção na tela do moinho martelo	Verificação 2x na semana
Motor elétrico	Verificação trimestral
Verificar tubos espaçadores	Verificação semanal

Fonte: Elaborado pelos autores

O plano de manutenção proposto é majoritariamente composto de atividades de verificação frequente do estado dos componentes do ativo, ação que pode ser realizada sem ocasionar perda de produção e durante os períodos de pausa da moagem, uma vez que o ativo não funciona ininterruptamente. Estas ações não irão ocasionar custos adicionais, uma vez que podem ser realizadas pelos profissionais já contratados pela empresa durante os seus expedientes. A instalação de um sistema de monitoramento de vibração, por outro lado, ocasionaria custos relacionados à instalação dos sensores e monitores. No geral, os custos de implantação do RCM seriam baixos se comparados ao custo atual de manutenção corretiva não programada. Existiria um ganho considerável em previsibilidade de custos, diminuindo as grandes variações dos tempos entre falhas que ocorrem atualmente por falta de um plano cuidadoso de manutenção.

Em relação à implantação do sistema de monitoramento de vibração, a empresa responsável pelo equipamento, de forma paralela à realização deste estudo, passou a estudar a execução da medida, que foi aprovada e será colocada em prática em um futuro próximo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS



Ao longo do estudo, foi observado que mesmo um ativo de criticidade elevada em um processo de produção pode estar sendo negligenciado em relação à sua manutenção, colocando em risco a operação devido à imprevisibilidade das falhas e gerando uma oscilação grande de custos que é prejudicial ao controle de estoque e ao planejamento financeiro de qualquer empresa, seja qual for o porte dela. Foi observado também que a utilização de metodologias como o RCM pode trazer soluções e práticas muitas vezes simples e de baixo custo, mas que proporcionam grandes melhorias.

7. Referências Bibliográficas

ABRAMAN, Associação Brasileira de Manutenção, Revista oficial da Abramam, Vinte anos da ABRAMAN, n. 54. 2005.

BUHLER, Hammermill Operating Instructions 65630-en. Uzwil, Suíça
KARDEC, A. & NASCIF, J. Manutenção Função Estratégica. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2010.

JAPAN INSTITUTE FOR PLANT MAINTENANCE (JIPM). 600 Forms Manual. Japan, 1995.

SIQUEIRA, Iony Patriota de. Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implementação. Rio de Janeiro, RJ: Qualitymark, 2014.

TAVARES, L. A. Manutenção centrada no negócio. 1. ed. Rio de Janeiro: Novo pólo publicações, 2005.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. PCM, planejamento e controle da manutenção. Rio de Janeiro, RJ: Qualitymark, 2002. xv, 167 p. ISBN 8573033703.

XENOS, H. G. Gerenciando a Manutenção Produtiva. 1. ed. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.