

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA MECÂNICA
CAIO AYRES MENDES**

**MANUTENÇÃO PREVENTIVA E LUBRIFICAÇÃO EM CORREIA
TRANSPORTADORA DE FÁBRICA DE DORMENTES DE CONCRETO PRÉ-
MOLDADO**

**Varginha
2024**

CAIO AYRES MENDES

**MANUTENÇÃO PREVENTIVA E LUBRIFICAÇÃO EM CORREIA
TRANSPORTADORA DE FÁBRICA DE DORMENTES DE CONCRETO PRÉ-
MOLDADO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do título de Bacharel, sob orientação do Prof. Me. Jonathan Oliveira Nery.

Varginha

2024

CAIO AYRES MENDES

**MANUTENÇÃO PREVENTIVA E LUBRIFICAÇÃO EM CORREIA
TRANSPORTADORA DE FÁBRICA DE DORMENTES DE CONCRETO PRÉ-
MOLDADO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do grau de Bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em: / /

Prof. Me. Jonathan Oliveira Nery.

Prof.

Prof.

OBS:

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha mais sincera gratidão a todos que contribuíram para a realização deste trabalho. Em primeiro lugar, quero agradecer ao meu orientador, Jonathan Nery. Além disso, gostaria de estender meus agradecimentos aos membros da banca examinadora pelo tempo dedicado à leitura e avaliação deste trabalho, bem como por suas valiosas contribuições e sugestões para melhorá-lo. Agradeço também a todos os meus colegas de classe e amigos que me apoiaram ao longo desta jornada acadêmica, seja com palavras de incentivo, troca de ideias ou apoio emocional. Não posso deixar de mencionar o apoio e compreensão da minha família e namorada durante os momentos desafiadores deste processo. Seu amor, encorajamento e apoio inabalável foram essenciais para minha perseverança. Sou grato também à biblioteca do unis e os recursos disponíveis para a minha pesquisa.

Este projeto não teria sido possível sem o apoio e contribuição de cada uma dessas pessoas e recursos. Sou profundamente grato por ter tido a oportunidade de contar com suas colaborações e apoio ao longo deste processo. Obrigado a todos.

“Deve-se aprender sempre, até mesmo com um inimigo.”

Isaac Newton

RESUMO

O trabalho foca na análise do impacto da implementação de um programa de manutenção preventiva e lubrificação na otimização da confiabilidade e eficiência da correia transportadora em uma fábrica de dormentes de concreto pré-moldado. A justificativa reside na importância de facilitar inspeções mecânicas e lubrificação para garantir o bom funcionamento operacional da máquina. O objetivo geral foi analisar como a implementação de um programa de manutenção preventiva e lubrificação poderia otimizar a confiabilidade e a eficiência da correia transportadora em uma fábrica de dormentes de concreto pré-moldado, evitando perdas de produção, quebras de rolamentos, empenamento de estruturas, corrosão de materiais estruturais, dentre outras variáveis, de maneira a garantir o bom funcionamento da máquina. A metodologia envolveu o desenvolvimento e comparação de inspeções do plano de manutenção, além da utilização de indicadores MTTR e MTBF para avaliar melhorias. Os resultados mostram uma grande diferença no desempenho da empresa, com aumento da disponibilidade dos equipamentos e redução de falhas.

Palavras-chave: Manutenção preventiva. Lubrificação. Indicadores de manutenção.

ABSTRACT

The work focuses on analyzing the impact of implementing a preventive maintenance and lubrication program on optimizing the reliability and efficiency of the conveyor belt in a precast concrete sleeper factory. The justification lies in the importance of facilitating mechanical inspections and lubrication to ensure the good operational functioning of the machine. The general objective was to analyze how the implementation of a preventive maintenance and lubrication program could optimize the reliability and efficiency of the conveyor belt in a precast concrete sleeper factory, avoiding production losses, bearing breakdowns, warping of structures, corrosion of structural materials, among other variables, in order to guarantee the proper functioning of the machine. The methodology involved the development and comparison of maintenance plan inspections, in addition to the use of MTTR and MTBF indicators to evaluate improvements. The results show a big difference in the company's performance, with increased equipment availability and reduced failures.

Keywords: *Preventative maintenance. Lubrication. Maintenance indicators.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Correia transportadora horizontal TCH em 2D	18
Figura 2 - Correia transportadora em fábrica	19
Figura 3 - Descritivo técnico da correia transportadora	20
Figura 4 - Segunda parte do Descritivo Técnico da Correia Transportadora	21
Figura 5 - Gerações da Manutenção	22
Figura 6 - Intervalo de relubrificação com graxa	29
Figura 7 - Fator ka de aplicação para diferentes tipos de correias e condições.....	31
Figura 8 - Dados técnicos do rolamento NSK2215K	32
Figura 9 - Dados técnicos dos rolamentos 6207ZZ e 6308ZZ da NSK	33
Figura 10 - Valores de coeficiente de carga e suas aplicações	34
Figura 11 - Valores de coeficiente de confiabilidade para correção da vida útil	35
Figura 12 - Dados técnicos do rolamento Rolmax UCR-209.....	36
Figura 13 - Fatores de rolamento.....	37
Figura 14 - Modelo de checklist de manutenção	38
Figura 15 - Continuação do modelo de checklist de manutenção	39
Figura 16 – Modelo de <i>checklist</i> de lubrificação.....	40
Figura 17 - Inspeções dos roletes de carga e roletes de retorno	41
Figura 18 - Inspeções dos cavaletes de carga e cavaletes de retorno	42
Figura 19 - Inspeções dos Mancais do tambor acionado e acionador	43
Figura 20 - Inspeções do tambor acionador e acionado	44
Figura 21 - Inspeções do raspador primário e secundário	44
Figura 22 - Inspeções do motor, redutor e acionamento do motor e redutor	45
Figura 23 - Inspeções nas estruturas e na bica da correia transportadora.....	46
Figura 24 - Inspeções da trama de poliéster da correia transportadora e materiais acumulados	47
Figura 25 - Paradas da correia transportadora de 08/22 a 01/23	48
Figura 26 - Paradas da correia transportadora de 12/23 a 05/24	49
Figura 27 - Resolução do cálculo da vida útil dos rolamentos	50
Figura 28 - Resolução do cálculo do diâmetro médio dos rolamentos.....	52
Figura 29 - Resolução dos cálculos relacionados ao gráfico de relubrificação.....	52
Figura 30 - Seleção do intervalo de relubrificação no gráfico para os rolamentos	53
Figura 31 - Resolução do cálculo da quantidade de graxa para cada rolamento.....	54

Figura 32 - Checklist de manutenção, com as inspeções, métodos e intervalos de inspeção preventiva	56
Figura 33 - Continuação do checklist de manutenção, com as inspeções, métodos e intervalos de inspeção preventiva.....	57
Figura 34 - Checklist de lubrificação com os dados de projeto.....	58
Figura 35 - Resolução do cálculo dos indicadores de manutenção MTTR, MTBF e disponibilidade dos períodos analisados	59

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Vida útil dos rolamentos em anos	51
Gráfico 2 - Intervalo de relubrificação dos rolamentos em meses	54
Gráfico 3 - Quantidade de graxa nos rolamentos em gramas.....	55
Gráfico 4 - Valores de MTBF e MTTR em horas dos períodos analisados	59

LISTA DE EQUAÇÕES

<i>MTBF</i> (1)	24
<i>MTTR</i> (2)	24
Disponibilidade (3)	24
Coefficiente de vida <i>fn</i> (4)	25
Coefficiente de velocidade <i>fh</i> (5)	25
Vida nominal <i>L10h</i> com 90% de confiabilidade (6)	25
Vida nominal <i>Lna</i> com coeficientes de correção (7)	26
Carga radial <i>Fr</i> corrigida por coeficiente no rolamento (8)	26
Vida útil <i>L</i> de rolamentos radiais de esferas da Rolmax (9)	27
Força radial <i>Fr</i> gerada no acoplamento de polias e correias (10)	27
Quantidade de graxa <i>Gp1</i> com lubrificação na lateral do rolamento (11)	28
Quantidade de graxa <i>Gp2</i> com lubrificação a lubrificação dos furos no centro do anel externo ou interno (12)	28
Diâmetro médio do rolamento <i>dm</i> (13)	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	MANUTENÇÃO PREVENTIVA	17
2.1	Correia transportadora	18
2.2	Manutenção preventiva	22
2.2.1	Indicadores	24
2.3	Lubrificação	24
2.3.1	Lubrificação Industrial	25
3	METODOLOGIA	31
3.1	Cálculo da vida útil dos rolamentos, quantidade de lubrificante a ser utilizado e intervalo de lubrificação	31
3.2	Criação de checklists para manutenção preventiva e lubrificação.....	38
3.3	Como as inspeções foram criadas (manutenção e lubrificação).....	40
3.3.1	Inspeções dos roletes de carga e de retorno	41
3.3.2	Inspeções dos cavaletes de carga e de retorno	42
3.3.3	Inspeções dos mancais do tambor acionado e do tambor acionador.....	42
3.3.4	Inspeções do tambor acionador e acionado.....	43
3.3.5	Inspeções do raspador primário e secundário.....	44
3.3.6	Inspeções do motor, redutor e acionamento do motor e redutor	45
3.3.7	Inspeções nas estruturas de sustentação e na bica da correia transportadora.....	45
3.3.8	Inspeções na correia transportadora, vedações laterais, camada do material e módulo acionado.....	46
3.4	Comparação dos dados com base nos indicadores de manutenção	48
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4.1	Vida útil dos rolamentos	50
4.2	Intervalo de relubrificação dos rolamentos	51
4.3	Quantidade de graxa dos rolamentos	54
4.4	Checklist de manutenção e lubrificação	55
4.5	Comparação dos indicadores manutenção MTTR e MTBF e disponibilidade ..	58
5	CONCLUSÃO	61
	REFERÊNCIAS	62

1 INTRODUÇÃO

A manutenção preventiva é uma abordagem estratégica ideal para gestão de ativos para que haja a confiabilidade, disponibilidade e longevidade dos equipamentos e sistemas. A falta de uma boa manutenção nos equipamentos pode impactar negativamente na produtividade de uma fábrica. Diferente da corretiva que apenas corrige os defeitos quando ocorrem, paralisando provavelmente toda a fábrica, a preventiva antecipa as falhas por meio de planejamentos em intervalos de tempos. Juntamente com um bom plano de lubrificação é possível evitar atritos entre equipamentos proporcionando mais vida útil. Os dois componentes podem ser adicionados a uma maneira de confiscar os problemas de uma indústria, como por exemplo, o *checklist*, que necessita que seja feita uma confirmação de falha, detalhando o ocorrido, ou caso não haja, apenas marcando que a situação do equipamento está sob boas condições.

Segundo Pereira (2009), o plano de manutenção preventiva consiste em analisar cada um dos componentes que agrupam o sistema, por exemplo, primeiramente é necessário fazer uma identificação de ativos, depois coletar os dados, definir as atividades, estabelecer os intervalos, criar os procedimentos, programar e agendar, executar e registrar, monitorar e analisar, e assim angariar melhorias contínuas. Já a lubrificação é primeiro feita uma análise dos equipamentos que serão lubrificados, pontos de lubrificação, os tipos de lubrificantes, frequência de lubrificação, quantidade de lubrificante, métodos de aplicação, responsabilidades, procedimentos de lubrificação, monitoramento e inspeção e manutenção preventiva, que engloba o treinamento de lubrificadores, portanto é preciso implementar um *checklist* para facilitar a documentação e acompanhamento dos dados que serão gerados com o tempo a fim de possibilitar uma análise com indicadores (Queijo, 2017).

O trabalho se tratou do planejamento de uma manutenção preventiva e lubrificação em uma correia transportadora e toda sua estrutura, de uma fábrica de dormentes de concreto pré-moldado com a criação de planilhas de *checklist* para acompanhamento nos pontos mais críticos, o que permitiu a formulação da coleta de dados e utilização de indicadores de desempenho.

O objetivo da pesquisa foi implementar um plano de manutenção preventiva e lubrificação de uma correia transportadora na fábrica de dormentes, nas estruturas metálicas, rolamentos, dentre outros componentes que são de grande importância para a produção dos dormentes e funcionamento das máquinas acompanhando os dados que serão gerados por

meio da coleta de informações no *checklist* pelos mecânicos. Portanto era de suma importância monitorar tudo que envolve a fabricação dos componentes e impedir que a produção destes pare. De acordo com Queijo (2017), com a manutenção preventiva e lubrificação podemos ter o controle mais preciso e aumentar a vida útil de equipamentos e elementos mecânicos. Nesta fábrica nunca existiu antes esse tipo de manutenção, apenas a corretiva. A pesquisa teve como base a utilização de dois indicadores para as planilhas de *checklist* para confirmar se depois de implementado, realmente houve a mudança de comportamento de melhora de paradas para manutenção corretiva.

Foram avaliadas as estruturas e componentes de máquinas da correia transportadora primeiramente, para se estabelecer os parâmetros para a manutenção, logo após, foram criadas as planilhas para manutenção preventiva. Com tudo pronto, foi possível utilizar a planilha em formato de *checklist* para inspeções após a aprovação da mesma. Depois, foi iniciado o planejamento do plano de lubrificação, identificando quais equipamentos deveriam ser lubrificados e calculando especificamente o tempo de relubrificação e demais requisitos. Com tudo pronto e também implementado os indicadores, foi possível identificar com a coleta de dados, a eficácia do plano de manutenção.

Portanto, o objetivo geral deste trabalho foi facilitar as inspeções mecânicas e lubrificação nos subcomponentes da máquina, o que resultou em uma boa condição de funcionamento operacional da correia transportadora em geral.

O trabalho investigou como a implementação de um programa de manutenção preventiva e lubrificação poderia aprimorar a confiabilidade e a eficiência da correia transportadora em uma fábrica de dormentes de concreto pré-moldado. O objetivo foi analisar como esse programa poderia otimizar a confiabilidade e a eficiência da correia transportadora, evitando perdas de produção, quebras de rolamentos, empenamento de estruturas, corrosão de materiais estruturais, entre outras variáveis.

O foco foi garantir o bom funcionamento da máquina e maximizar a produtividade da fábrica de dormentes de concreto pré-moldado, utilizando de alguns requisitos: Caracterizar as vantagens da utilização da manutenção preventiva e lubrificação como método de manutenção industrial. Expor brevemente, como as inspeções nos equipamentos da correia transportadora são criadas. Calcular a vida útil dos rolamentos para a lubrificação periódica, e estabelecer a quantidade de lubrificante a ser usado. Criar um *checklist* de manutenção para as inspeções da correia transportadora e outro para lubrificação. Analisar os indicadores dos dados coletados referentes aos *checklists*.

O projeto foi elaborado e executado a partir de uma pesquisa ação na fábrica de dormentes para trilho de trem do setor ferroviário, localizada na cidade de Campanha, no Sul de Minas. A empresa necessitava de um plano de manutenção preventiva na correia transportadora.

Desde então não possuíam nenhum tipo de manutenção que não fosse corretiva, portanto foi requisitado para utilizar a preventiva para reduzir custos e o tempo de parada da máquina.

O trabalho foi executado entre o período de 05/06/2023 até 05/05/2024, tempo necessário para implantação do plano de manutenção e lubrificação na correia transportadora e possível análise de disponibilidade em relação a períodos passados.

2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Oliveira (2013) admite que a manutenção corretiva ficou para os tempos passados, pois com ela não é possível prever quando uma máquina irá falhar. Apesar de ter alguns benefícios como garantir a máxima vida útil de um equipamento até que ele chegue à sua respectiva falha, quando é preciso prevenir que paradas ocorram, para evitar perda de produção, é de extrema importância utilizar outros meios mais eficientes.

O autor ainda assume que, diferente da corretiva, agora com a preventiva, com essa atual maneira de fazer as inspeções é preciso estabelecer um padrão comportamental. A corretiva não espera que danos ocorram, com a preventiva é totalmente possível evitar o surgimento de danos e também prevenir possíveis paradas de máquinas. A lubrificação pode ser enquadrada como parte de uma inspeção preventiva. Os objetivos, que também podem ser considerados vantagens quando alcançados, deste método de manutenção podem ser listados da seguinte maneira:

- a) Reforçar a confiabilidade de um equipamento;
- b) Minimizar as despesas e ocorrências de paragens não programadas;
- c) Prolongar a vida útil de um equipamento;
- d) Gerenciar a carga de trabalho de forma eficiente;
- e) Aprimorar a segurança

Para Bloch (2000), quando dois objetos deslizam, um sobre o outro, é necessário superar uma resistência, denominada, atrito. É importante ressaltar que nos sólidos por esse comportamento é apresentada a presença de desgastes que devem ser controlados e dimensionados pois resultam na perda de material dos componentes mecânicos devido ao cisalhamento, como por exemplo, em casos extremos, o dente de uma engrenagem quebrar. Portanto, não se pode subestimar os efeitos da falta da lubrificação.

A lubrificação faz com que esses desgastes que com o tempo são gerados nas peças, sejam minimizados e controlados pois reduz a superfície de contato entre os corpos, garantindo vida útil, porém, existem diversas variáveis que precisam ser incluídas no cálculo de lubrificação, se for do interesse manter um fator de segurança maior. É muito importante ressaltar, que garantir o bom funcionamento de equipamentos não é só lubrificar máquinas, e sim, saber escolher qual lubrificante se enquadra e também a quantidade necessária por período de lubrificação (Bloch, 2000).

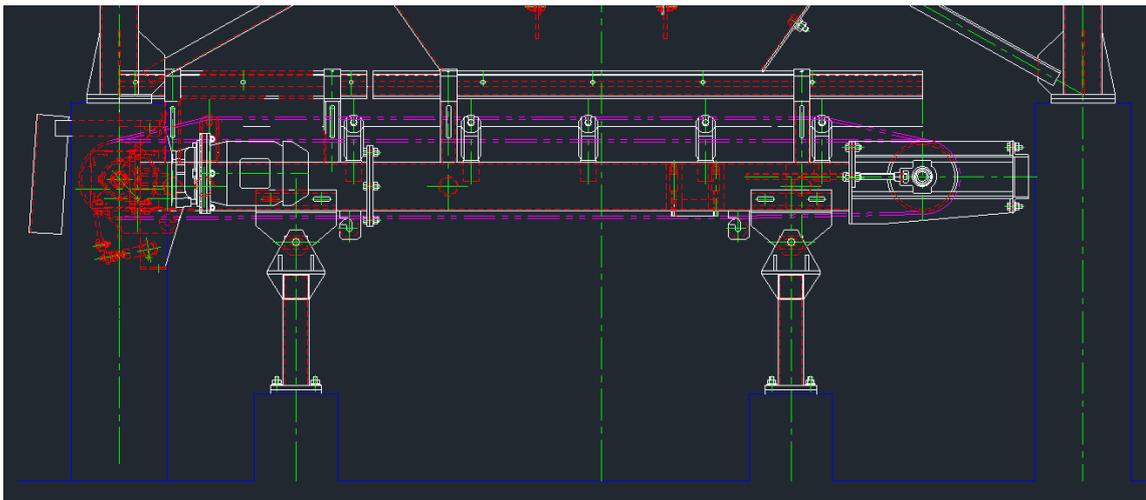
Com a unificação desses componentes, a lubrificação e a manutenção preventiva é possível criar planilhas para o gerenciamento da produção da fábrica e conseqüentemente a

elaboração de *checklists* para análise em campo. O foco em eliminar qualquer tipo de corretiva é necessário, porém não implica na anulação do uso da mesma, pois é claro que a qualquer momento um equipamento pode vir a falhar, e até mesmo isso é parte do planejamento de dados, como por exemplo, a coleta de dados.

2.1 Correia transportadora

Conforme apresentado, com o plano de manutenção preventivo completo (englobando a lubrificação), foi possível obter uma boa melhora do desempenho. Foi solicitado apenas a correia transportadora para a análise pois ela é um dos principais componentes da fábrica e não pode comprometer o funcionamento do restante. Foi analisado parte a parte dos subconjuntos de equipamentos da correia transportadora, conforme a Figura 1:

Figura 1 - Correia transportadora horizontal TCH em 2D



Fonte: Adaptado de Conprem (2014).

Como apresentado na Figura 1, o conjunto máquina em si possui outros subconjuntos, e é em relação a esses outros subconjuntos, como rolamentos, que necessitam de lubrificação, eixos, mancais, fixadores cavaletes de carga, raspadores de brita, que precisam de inspeção constante para não ocasionar em desgastes futuros, dentre outros, como por exemplo a corrosão que é muito comum nessa fábrica pela presença de concreto, que em sua composição carrega a água como elemento primordial, dentre outros, como a sílica.

Na Figura 2 a seguir será apresentada a visão da máquina diretamente na fábrica em seu bom estado de funcionamento, porém parada, pela não utilização no momento:

Figura 2 - Correia transportadora em fábrica



Fonte: O autor.

De acordo com o manual desse TCH, ele possui algumas especificações técnicas:

Figura 3 - Descritivo técnico da correia transportadora

CONPREM Desenvolvimentos de Equipamentos**Descritivo Tec. 005****rev. 0**

Alto Araguaia 28 de Janeiro de 2010

1. Transportador de Correia Horizontal 24'' TCH- 03 Distância entre Eixos= 9.5 metros, com Esticador Acoplado no Tambor Acionado. Des. N° 366.75.00.00

Velocidade linear Nominal: 37.6 m/min

Rotação Nominal do Tambor Acionador: 34.8 rpm

2. Motor elétrico: Potencia 10 Cv – Operando com Inversor de Frequência.

VI pólos – 1160 rpm – 60 HZ

Grau de Proteção IP 55 TFVE

Carcaça 132M/L – Isolamento Classe "F" (ΔT 80 °C)

Fator de Serviço: 1,15

Tensão: 220/380

Quantidade: 01 unidade.

3. Redutor de Velocidade.

Fabricante: Cestari: Tipo Helicon HV

Tamanho: 10

Código: J10224P21 – Eixo Vazado com Chaveta e Braço de Torção

Potência de Entrada: 11.5 Cv a 1160 rpm

Com redução entre polias de 1:2.083

Rotação de Entrada: 556.8 rpm

Redução: 1:16

Rotação de Saída: 34.8 rpm

Torque de Saída: 780 Nm

Ø Furo 55 – H7 x 190 mm

Ø Eixo de Entrada: 30 – h6 x 65 mm

Quantidade: 01 unidade.

Transmissão entre: Motor e Eixo de Entrada do Redutor por Correias em V.**4. Polia do motor – Ø ext. 120 mm**

Quantidade de canal 04

4.1 Polia do redutor – Ø ext. 250 mm

Quantidade de canal – 04

4.3 Correias de perfil – B 64

Fonte: Conprem (2010).

A Figura 3 expressa alguns dados técnicos a respeito da correia transportadora, porém ela está dividida em duas sessões, a segunda parte será abordada a seguir na Figura 4:

Figura 4 - Segunda parte do Descritivo Técnico da Correia Transportadora

CONPREM Desenvolvimentos de Equipamentos

DT. 002 – pagina 02

rev. 0

5. Mancal Eixo Acionador – Ø 76,2 mm
 - 5.1 Caixa SNAH 515 / Henfel – Execução BP – Lado do Acionamento
Rolamento: NSK 2215 K
Bucha de Fixação Completa H 315
Quantidade 01 conjunto
 - 5.2 Caixa SNAH 515 / Henfel – Execução LC – Lado Oposto do Acionamento
Rolamento: NSK 2215 K
Bucha de Fixação Completa H 315
Quantidade 01 conjunto
6. Mancal eixo acionado – Ø Eixo 76.2mm
 - 6.1 Caixa de Deslizamento T- 9 / Rolmax
Rolamento de Base UCR – 209 / Rolmax
Quantidade 02 Conjuntos
7. Correia Nylomerco CTR – Mercúrio
AB – 2 Lonas / NN – 1100
RMA – grau II
Largura 610 mm (24”) x 2 Lonas 1/16” x 3/16 Espessura 3/8”
22,000 mm Desenvolvida Aberta (Sem emenda).
8. Tambor Acionador e Acionado Ø 344 mm com Revestimento Borracha 3/8”
Dureza 60 a 70 SHORE.
Processo: Vulcanizado Quente Direto a Superfície do Tambor.
Referencia Gumaplastic.
9. Roletes de Carga e Retorno DIN. 3”
Des. Nº 366.75.03.00
Des. Nº 366.75.04.00
10. Graxa para rolamentos:
Lumobras Molykote BR-2 Plus

Fonte: Conprem (2010).

Alguns desses dados obtidos nas Figuras 3 e 4 serão utilizados na seção 4 para cálculos e obtenção de valores representativos como, por exemplo, a vida útil dos rolamentos utilizados e até mesmo a quantidade de graxa a ser usada.

2.2 Manutenção preventiva

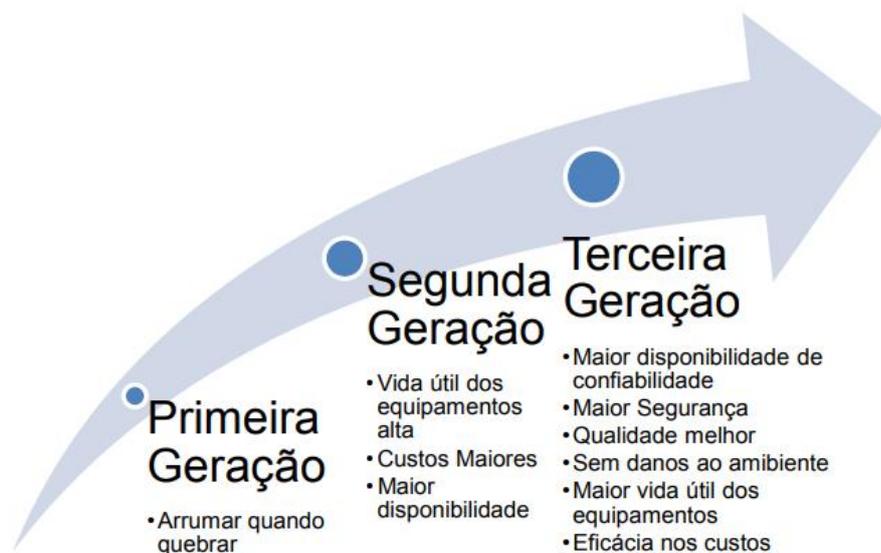
De acordo com Lucatelli (1998), as técnicas e procedimentos de manutenção passaram por significativas evoluções em seus métodos e práticas em um curto período de tempo. Três eventos cruciais podem ser identificados como catalisadores dessas mudanças, todos impulsionados pela necessidade de aprimorar e otimizar operações durante períodos de adversidade:

- a) O surgimento da Manutenção Corretiva (por volta de 1540);
- b) A introdução da Manutenção Preventiva (na década de 1940);
- c) O desenvolvimento da Manutenção Preditiva (a partir da década de 1970).

Esses marcos representam etapas fundamentais no desenvolvimento da manutenção industrial.

Existem registros que remontam à prática de manutenção desde a década de 1930, e sua progressão ao longo do tempo pode ser categorizada em três fases, conforme ilustrado na Figura 5 (Pazeto, 2016):

Figura 5 - Gerações da Manutenção



Pazeto (2016) diz que, durante a Segunda Guerra Mundial, o cenário global experimentou profundas transformações devido à carência de mão de obra e ao crescimento da demanda por produtos. Esse contexto estimulou a automatização da indústria, resultando em máquinas mais sofisticadas e uma dependência crescente delas devido à escassez de trabalhadores. Foi nesse contexto que surgiu o conceito de manutenção preventiva, visto que era essencial minimizar o tempo ocioso das máquinas. É importante ressaltar que a lubrificação é uma inspeção integrante da preventiva pois previne que corretivas ocorram.

No trabalho foi feito um plano de manutenção preventiva (que já engloba a lubrificação), e conseqüentemente a implementação de um *checklist* para análise periódica da correia transportadora em campo, se houvesse alguma falha, seria usado como base para coleta de dados e criação de indicadores.

Nunes (2001) afirma que a manutenção preventiva é uma abordagem que busca evitar a ocorrência de falhas em equipamentos. Isso envolve intervenções planejadas e programadas antes da data prevista para possíveis falhas, especialmente quando se conhece a lei de degradação do equipamento, que descreve seu desgaste ao longo do uso, geralmente acelerado por operação inadequada. A manutenção preventiva pode incluir inspeções periódicas e rondas de acompanhamento. Geralmente, a manutenção corretiva é aplicada em complemento à preventiva, considerando o aspecto de custo envolvido, pois algumas falhas residuais podem ser mais econômicas de serem reparadas corretivamente do que evitadas preventivamente.

A evolução histórica da manutenção e dos processos industriais é abordada por Moubay (2000) com base em três gerações distintas. A primeira geração representou a ênfase no conserto após a falha. A segunda geração, por sua vez, esteve associada ao surgimento de maiores exigências com relação à disponibilidade operativa e a vida útil dos equipamentos, a custos menores (Nunes, 2001 p.10).

Com a terceira geração, já surgiram índices de desempenho das máquinas melhores pois com a preditiva já é possível monitorar sempre o funcionamento das mesmas, porém de acordo com alguns fatores uma empresa (ou fábrica), pode avaliar quais parâmetros influenciam diretamente na escolha da geração da manutenção a ser trabalhada (Nunes, 2001).

Uma fábrica que possui a manutenção preventiva em dia, também conta com a presença da lubrificação, pois garante que os equipamentos não venham a falhar repentinamente (Coelho, 2020).

Com a elaboração da manutenção preventiva e também da lubrificação é possível criar planilhas de inspeções periódicas, chamadas de *checklist*.

2.2.1 Indicadores

Existem alguns indicadores que auxiliam na melhora do acompanhamento do equipamento, como por exemplo, o MTTR, o MTBF e a disponibilidade. O MTBF (*Mean time between failure*), é o tempo entre falhas, já o MTTR (*Mean time to repair*), é o tempo que foi necessário para a manutenção corretiva de certo equipamento, quando houve quebra ou falha. Já a disponibilidade, é responsável por comparar se certos equipamentos estão atendendo as especificações e estão em boas condições em relação ao passado (Brand, 2011).

O autor informa que é necessário utilizar cálculos para determinação dos indicadores, representados nas equações (1), (2) e (3):

$$MTBF = (\sum_{i=1}^n TBF_i)/N \quad (1)$$

$$MTTR = (\sum_{i=1}^n TTR_i)/N \quad (2)$$

$$DISP = MTBF/(MTBF + MTTR) \quad (3)$$

Onde:

- a) MTBF = tempo médio entre falhas (h);
- b) MTTR = tempo médio de reparo (h);
- c) DISP = disponibilidade (adimensional);
- d) TBF = tempo de operação entre as falhas (h);
- e) TTR = tempo para o reparo (h);
- f) N = quantidade de falhas (adimensional).

Com a utilização dos indicadores (1), (2) e (3), será feita a coleta de dados da correia transportadora e conseqüentemente com o passar do tempo, e de sua utilização, o resultado do cálculo da disponibilidade, que vai indicar se a máquina com a manutenção preventiva que está sendo estabelecida nos subconjuntos de equipamentos está sendo realmente eficiente.

2.3 Lubrificação

De acordo com Coelho (2020), no Egito antigo, foram encontradas pinturas que retratavam homens aplicando gordura animal nas rodas dos trenós. Isso era feito para transportar grandes blocos de pedra que seriam utilizados na construção das imponentes esfinges e pirâmides. Além disso, também foram encontrados vestígios de uma carruagem

antiga que utilizava lubrificantes feitos a partir de gordura de animais, aplicados nos mancais das rodas.

Essa prática antiga de lubrificação demonstra a capacidade dos seres humanos de adaptar e utilizar recursos naturais para melhorar a eficiência e a facilidade de suas tarefas cotidianas, como o transporte de materiais pesados.

2.3.1 Lubrificação Industrial

Os subcomponentes de máquinas necessitam de lubrificação para evitar o contato direto entre suas superfícies móveis, reduzindo o atrito. Isso é fundamental, pois o atrito excessivo pode causar temperaturas elevadas, desgaste e danos, levando a falhas mecânicas. A ausência de lubrificação comprometeria o funcionamento das máquinas em um curto prazo. O atrito é a principal causa de falhas mecânicas, mas uma lubrificação adequada pode minimizar esse risco, contribuindo para a operação eficiente e durabilidade das máquinas industriais. Portanto, manter um processo de lubrificação ativo é essencial para prevenir problemas mecânicos (Lansdown, 2004).

Além disso, esse método é previsto, segundo Mobley (2004), como manutenção preventiva, pois garante que sejam feitas inspeções periódicas angariando uma disponibilidade dos subconjuntos de equipamentos e conseqüentemente na máquina inteira.

Segundo o grupo NSK, a definição de vida L10 é a quantidade máxima de revoluções que um conjunto de rolamentos idênticos pode realizar sem que 90% deles apresentem falhas devido à fadiga. Isso ocorre quando cada rolamento é testado individualmente em condições de operação padrão, com uma probabilidade de falha de 10%. A seguir é representada nas equações (4), (5) e (6), fórmulas base para o cálculo da vida útil:

$$fn = (10^6 / (500 \cdot 60 \cdot n))^{1/3} \quad (4)$$

$$fh = (fn \cdot C) / P \quad (5)$$

$$L10_h = 500 \cdot fh^3 \quad (6)$$

Onde:

- a) fn = coeficiente de vida (adimensional);
- b) fh = coeficiente de velocidade (adimensional);

- c) L_{10h} = vida nominal com 90% de confiabilidade (h);
- d) n = velocidade de rotação de operação (rpm);
- e) C = capacidade de carga básica dinâmica (N);
- f) P = carga no rolamento (N).

A própria fabricante de rolamentos NSK fornece algumas equações caso o rolamento necessite se adequar mais em relação à vida útil específica do local onde está sendo empregado o cálculo, um exemplo é a própria correia transportadora que possui baixa rotação em alguns rolamentos e alta contaminação de externos, necessitando de adequação, na equação (7). A seguir é demonstrado o método de obtenção da vida útil com a confiabilidade maior do que 90%, que possui alguns coeficientes e podem ser modificados conforme a necessidade:

$$L_{na} = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot L_{10} \quad (7)$$

Onde:

- a) L_{na} = vida nominal considerando-se os coeficientes (h);
- b) L_{10} = vida nominal com 90% de confiabilidade (h);
- c) a_1 = coeficiente de confiabilidade (adimensional);
- d) a_2 = coeficiente de material (adimensional);
- e) a_3 = coeficiente das condições de uso (adimensional).

A fabricante de rolamentos SKF além de apresentar a vida útil calculada de maneira mais realística, ainda fornece uma base de coeficientes que são tabelados e utilizados em equações para realizar o cálculo mais precisamente e adequar à empresa. A equação (8) a seguir apresenta a maneira simplificada de como obter a carga básica aplicada no rolamento, porém com a adição de um coeficiente:

$$F_r = f_w \cdot F_{rc} \quad (8)$$

Onde:

- a) F_r = carga atuante efetivamente no rolamento (N);
- b) F_{rc} = carga radial calculada (N);
- c) f_w = coeficiente de carga (adimensional).

O coeficiente de carga indicado é encontrado em uma tabela que será indicada no decorrer da elaboração do trabalho.

Portanto existe uma segunda fabricante de rolamentos que possui uma equação para rolamentos radiais de esferas, que é a Rolmax. Como no projeto é utilizado rolamentos tanto da NSK quanto da Rolmax e rolamentos internos do motor da WEG é interessante utilizar cálculos adequados para dados rolamentos. A Rolmax possui duas maneiras de obter a vida útil dos seus rolamentos, seja por gráfico, ou por equação. A equação (9) descrita para a resolução se encontra a seguir:

$$L = (16666/n) \cdot (C/P)^3 \quad (9)$$

Onde:

- a) L = vida útil em horas de trabalho (h);
- b) n = rotações por minuto (rpm);
- c) C = capacidade básica de carga radial dinâmica (kgf);
- d) P = carga básica aplicada (kgf).

A equação descrita acima apesar de parecida com a da fabricante de rolamentos NSK, possui diferenças que fazem o diferencial no momento do cálculo, principalmente em se tratando de modelos de rolamento de marcas diferentes. A WEG, fabricante de eletroeletrônicos, possui os motores como uma das suas principais fabricações, indica que nos motores apresentam rolamentos que precisam ser revisados caso necessário, porém fornece a equação para efetuar a manutenção do equipamento. A equação (10) é definida abaixo:

$$Fr = (19,1 \cdot 10^6 \cdot P_n \cdot ka) / (n_n \cdot dp) \quad (10)$$

Onde:

- a) Fr = força radial gerada pelo acoplamento de polias e correias (N);
- b) P_n = potência nominal do motor (kW);
- c) n_n = rotação nominal do motor (rpm);
- d) dp = diâmetro primitivo da polia motora (mm);
- e) ka = fator que depende da tensão da correia e do tipo de aplicação.

Acima é apresentado apenas a equação da força radial nos rolamentos dentro do motor, pois a WEG estabelece inicialmente horas iniciais de vida útil para motores elétricos, que são de vinte mil horas. Como os rolamentos do motor foram trocados é necessário realizar novamente a estimativa de vida útil. A fabricante rolamentos SKF, diz que, se for utilizado graxa para a lubrificação, é necessário calcular a quantidade para evitar desperdícios, segundo as equações (11) e (12) abaixo descritas:

$$Gp_1 = 0,005. D. B \quad (11)$$

$$Gp_2 = 0,002. D. B \quad (12)$$

Onde:

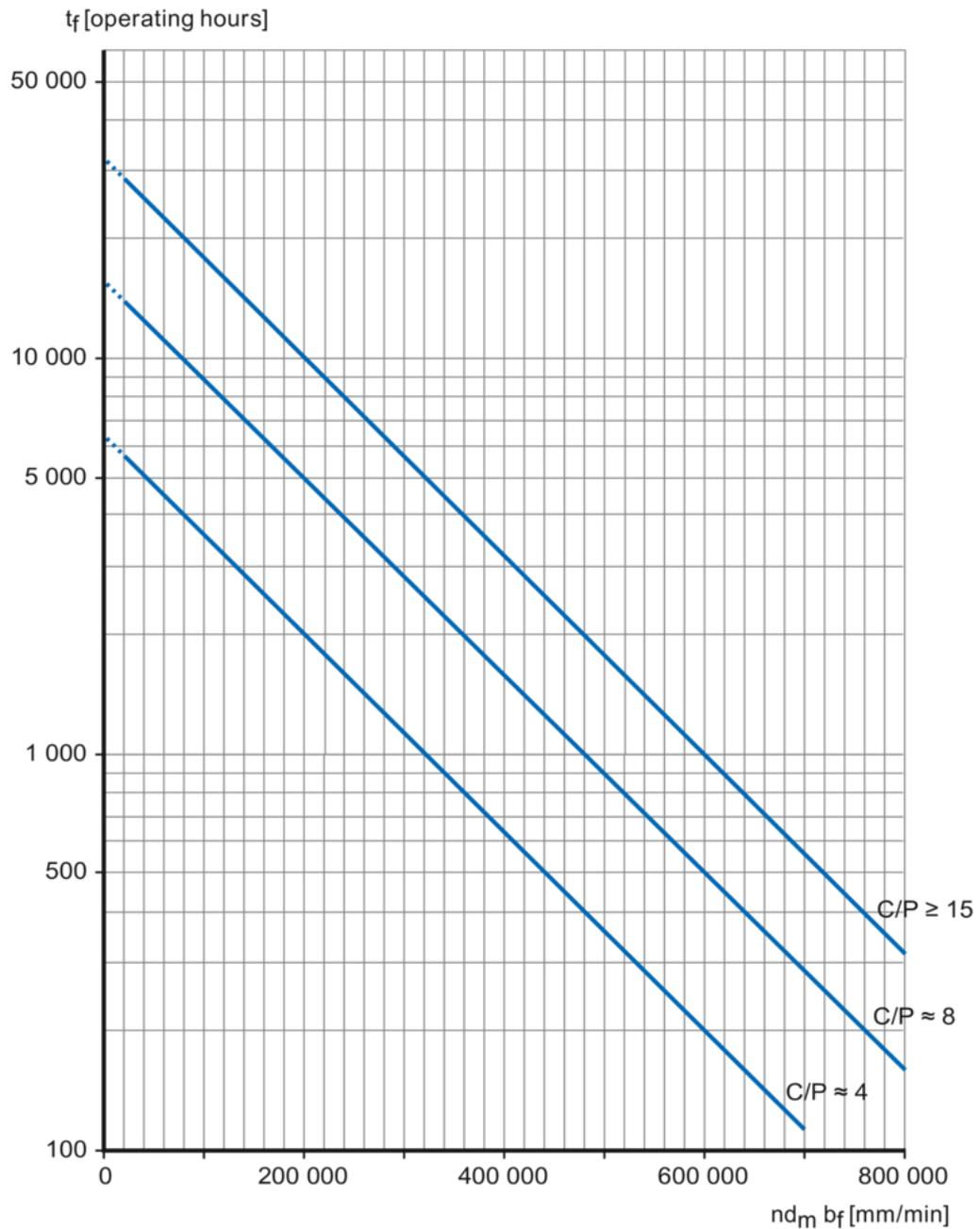
- a) Gp_1 = quantidade de graxa com a lubrificação na lateral do rolamento (g);
- b) Gp_2 = quantidade de graxa com a lubrificação dos furos no centro do anel externo ou interno (g);
- c) D = diâmetro externo do rolamento (mm);
- d) B = largura total do rolamento (mm).

Belinelli (2015) afirma que, com a gestão da lubrificação é possível aprofundar mais este método de manutenção, especificando óleos, ou graxas que serão utilizados, quantidade e período de lubrificação, como também garantir que os componentes não sofram as consequências do atrito, que poderiam ser prejudiciais tanto para um subconjunto de equipamentos como para a fábrica toda, tendo uma visão ampla no sentido de tempo de parada da máquina e eficiência.

Também se deve acompanhar a execução das atividades de lubrificação através de indicadores com a finalidade de avaliar e melhorar um serviço existente. Uma vez estruturado um sistema de gestão da lubrificação industrial, o resultado deve incluir uma redução de custos na lubrificação e uma melhoria da disponibilidade em linhas de produção (Belinelli, 2015 p.48).

Ainda segundo a SKF, quando submetidos a carregamentos e a altas temperaturas e o próprio tempo de uso, a graxa do rolamento pode perder suas características, necessitando então de uma nova lubrificação. De acordo com a Figura 6 abaixo fornecida pela fabricante é possível estimar aproximadamente um tempo teórico que seria utilizado na prática para relubrificação dos rolamentos:

Figura 6 - Intervalo de relubrificação com graxa



Fonte: Grupo SKF (2023).

O gráfico apresentado na figura 6 representa uma maneira geral elaborada pela marca de rolamentos para estimar o intervalo de relubrificação, no projeto da correia transportadora. Eles serão utilizados para os rolamentos de maneira prática. Para utilizar o gráfico é preciso dos seguintes dados:

a) t_f = intervalo de lubrificação (h)

- b) n = rotação (rpm)
- c) dm = diâmetro médio do rolamento (mm)
- d) bf = fator de rolamento (adimensional)

O fator bf necessita de uma tabela a qual foi fornecida para cálculo na Figura 13. O diâmetro médio do rolamento pode ser obtido pela equação (13) a seguir:

$$dm = 0,5. (D + d) \quad (13)$$

Onde:

- a) dm = diâmetro médio do rolamento (mm)
- b) D = diâmetro externo do rolamento (mm)
- c) d = diâmetro interno do rolamento (mm)

A equação descrita serviu de base para cálculo da relubrificação.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentadas as maneiras como foram desenvolvidas as inspeções do plano de manutenção, tanto as de lubrificação quanto as de manutenção preventiva e também apresentar a comparação dos dados falhas da correia transportadora em períodos isolados (com os indicadores de manutenção): O primeiro em Agosto de 2022 até Janeiro de 2023 e o segundo de Dezembro de 2023 até Maio de 2024. Será abordada a utilização dos indicadores MTTR e MTBF para comparação dos dados anteriores de falhas com os coletados e verificar a presença de melhoras na utilização do novo sistema de manutenção. Também, com tudo pronto é possível visualizar as planilhas de manutenção.

3.1 Cálculo da vida útil dos rolamentos, quantidade de lubrificante a ser utilizado e intervalo de lubrificação

A correia transportadora possui rolamentos em sua composição. O objetivo é calcular a vida útil e a quantidade de lubrificante de todos os rolamentos, pois estes são usados nas inspeções preventivas da fábrica.

Para começar a calcular os requisitos necessários foi preciso estabelecer alguns parâmetros, como, a capacidade de carga básica dos rolamentos. Existem quatro tipos de rolamentos utilizados na correia transportadora, com vidas úteis diferentes pelos fornecedores. Primeiramente foi realizada uma consulta no descritivo técnico da correia transportadora onde constava os dados que seriam cruciais para a descoberta da carga básica aplicada, no caso, as cargas radiais para os rolamentos NSK e Rolmax que estão fora do motor foram indicadas como 12kN e a força radial dos rolamentos internos do motor W22 132M da WEG foi necessário calcular por meio de uma fórmula (10) na seção 2.3.1, e também identificar o coeficiente de correia que é possível pela tabela ilustrada a seguir na Figura 7:

Figura 7 - Fator ka de aplicação para diferentes tipos de correias e condições

Grupos e Tipos Básicos de Aplicação		Fator ka da Aplicação	
		Correias (V) Trapezoidais	Correias Planas Lisas
1	(Ventiladores, Exaustores, Bombas Centrífugas, Bobinadeiras, Compressores Centrífugos, Máquinas Operatrizes) com potências até 30 cv (22 kW).	2,0	3,1

Fonte: WEG (2024).

Como a correia de transmissão do motor é em V na saída utiliza-se o fator 2,0.

As rotações para cada rolamento também são facilmente identificáveis no descritivo técnico.

A capacidade de carga dinâmica foi obtida no catalogo dos fabricantes como na Figura 8 abaixo pela empresa NSK:

Figura 8 - Dados técnicos do rolamento NSK2215K

<i>d</i>	Dimensões (mm)			Capacidade de Carga Básica				Limite de Rotação (rpm)		Número do Furo Cilíndrico
	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>r</i> mín.	(N)		(kgf)		Graxa	Óleo	
75	130	25	1,5	39 000	15 700	4 000	1 600	4 300	5 300	1215
	130	31	1,5	44 500	17 800	4 550	1 820	4 300	5 300	2215

Fonte: Grupo NSK (2023).

Acima na Figura 8 foram obtidos dados importantes para o cálculo da vida útil do rolamento 2215K como a capacidade de carga básica e também os diâmetros para a quantidade de lubrificante. Outros rolamentos como o NSK 6308ZZ e o NSK 6207ZZ também podem ser representados no mesmo catálogo, abaixo na Figura 9 são apresentados estes rolamentos:

Figura 9 - Dados técnicos dos rolamentos 6207ZZ e 6308ZZ da NSK

d	Dimensões (mm)			Capacidade de Carga Básica				Fator f_0	Limite de Rotação (rpm)			Número do Rolamento			
	D	B	r mín.	(N)		(kgf)			Graxa		Óleo	Aberto	Blindado	Vedado	
				C_r	C_{0r}	C_r	C_{0r}		Aberto Z - ZZ V - VV	DU DDU	Aberto Z				
25	37	7	0,3	4 500	3 150	455	320	16,1	18 000	10 000	22 000	6805	ZZ	VV	DD
	42	9	0,3	7 050	4 550	715	460	15,4	16 000	10 000	19 000	6905	ZZ	VV	DDU
	47	8	0,3	8 850	5 600	905	570	15,1	15 000	—	18 000	16005	—	—	—
	47	12	0,6	10 100	5 850	1 030	595	14,5	15 000	9 500	18 000	6005	ZZ	VV	DDU
	52	15	1	14 000	7 850	1 430	800	13,9	13 000	9 000	15 000	6205	ZZ	VV	DDU
28	62	17	1,1	20 600	11 200	2 100	1 150	13,2	11 000	8 000	13 000	6305	ZZ	VV	DDU
	52	12	0,6	12 500	7 400	1 270	755	14,5	14 000	8 500	16 000	60/28	ZZ	VV	DDU
	58	16	1	16 600	9 500	1 700	970	13,9	12 000	8 000	14 000	62/28	ZZ	VV	DDU
30	68	18	1,1	26 700	14 000	2 730	1 430	12,4	10 000	7 500	13 000	63/28	ZZ	VV	DDU
	42	7	0,3	4 700	3 650	480	370	16,4	15 000	9 000	18 000	6806	ZZ	VV	DD
	47	9	0,3	7 250	5 000	740	510	15,8	14 000	8 500	17 000	6906	ZZ	VV	DDU
	55	9	0,3	11 200	7 350	1 150	750	15,2	13 000	—	15 000	16006	—	—	—
	55	13	1	13 200	8 300	1 350	845	14,7	13 000	8 000	15 000	6006	ZZ	VV	DDU
32	62	16	1	19 500	11 300	1 980	1 150	13,8	11 000	7 500	13 000	6206	ZZ	VV	DDU
	72	19	1,1	26 700	15 000	2 720	1 530	13,3	9 500	6 700	12 000	6306	ZZ	VV	DDU
	58	13	1	15 100	9 150	1 530	935	14,5	12 000	7 500	14 000	60/32	ZZ	VV	DDU
	65	17	1	20 700	11 600	2 120	1 190	13,6	10 000	7 100	12 000	62/32	ZZ	VV	DDU
35	75	20	1,1	29 900	17 000	3 050	1 730	13,2	9 000	6 300	11 000	63/32	ZZ	VV	DDU
	47	7	0,3	4 900	4 100	500	420	16,7	14 000	7 500	16 000	6807	ZZ	VV	DD
	55	10	0,6	10 600	7 250	1 080	740	15,5	12 000	7 500	15 000	6907	ZZ	VV	DDU
	62	9	0,3	11 700	8 200	1 190	835	15,6	11 000	—	13 000	16007	—	—	—
	62	14	1	16 000	10 300	1 630	1 050	14,8	11 000	6 700	13 000	6007	ZZ	VV	DDU
40	72	17	1,1	25 700	15 300	2 620	1 560	13,8	9 500	6 300	11 000	6207	ZZ	VV	DDU
	80	21	1,5	33 500	19 200	3 400	1 960	13,2	8 500	6 000	10 000	6307	ZZ	VV	DDU
	52	7	0,3	6 350	5 550	650	565	17,0	12 000	6 700	14 000	6808	ZZ	VV	DD
	62	12	0,6	13 700	10 000	1 390	1 020	15,7	11 000	6 300	13 000	6908	ZZ	VV	DDU
	68	9	0,3	12 600	9 650	1 290	985	16,0	10 000	—	12 000	16008	—	—	—
40	68	15	1	16 800	11 500	1 710	1 180	15,3	10 000	6 000	12 000	6008	ZZ	VV	DDU
	80	18	1,1	29 100	17 900	2 970	1 820	14,0	8 500	5 600	10 000	6208	ZZ	VV	DDU
	90	23	1,5	40 500	24 000	4 150	2 450	13,2	7 500	5 300	9 000	6308	ZZ	VV	DDU

Fonte: Adaptado de Grupo NSK (2023).

Na mesma fabricante utilizando o catálogo foram obtidos os dados para estimar a vida útil como pode ser representada na Figura 9 acima. Com isso e com os dados obtidos na correia transportadora, foi possível utilizar a fórmula final, tendo em vista sempre considerar o coeficiente de carga, pois toda carga calculada no rolamento não é a carga realmente aplicada. A seguir na Figura 10 são dadas condições de utilização deste coeficiente:

Figura 10 - Valores de coeficiente de carga e suas aplicações

Condições de Operação	Exemplos de Aplicação	f_w
Operação suave e sem choque	Motores elétricos, máquinas operatrizes, ar condicionado	1 a 1,2
Operação normal	Sopradores, elevadores, compressores, guindastes, máquinas para indústria de papel	1,2 a 1,5
Operação com choque, vibração ou ambos	Máquinas de construção civil, britadores, peneiras vibratórias, laminadores	1,5 a 3

Fonte: Grupo NSK (2023).

Para todos os cálculos será adotado o valor 1,2 referente ao coeficiente descrito na Figura 10.

A NSK fornece alguns indicadores para cálculo de rolamentos, como mencionados acima e no projeto de manutenção preventiva da correia transportadora foram utilizados alguns coeficientes, dentre eles:

- a) coeficiente de material;
- b) coeficiente de carga;
- c) coeficiente das condições de uso;
- d) coeficiente de confiabilidade.

O coeficiente de material é dado como maior que um pois, de acordo com a fabricante é um coeficiente de prolongamento da vida útil, já o de carga é adotado na formulação dada na seção 2.3.1 e teve como função corrigir a carga teoricamente calculada com um fator. Para o coeficiente de condições de uso devem ser considerados alguns fatores:

- a) Viscosidade do óleo lubrificante for baixa;
- b) Velocidade do corpo periférico for muito baixo;
- c) Temperatura no rolamento for alta;
- d) Lubrificante estiver contaminado;
- e) Desalinhamento entre os anéis for grande.

A NSK recomenda que o coeficiente seja maior ou igual a um, caso o desalinhamento entre os anéis não ocorram. Caso contrário, é necessário adotar valores menores ou iguais a um. No caso da correia transportadora, foi necessário visualizar de maneira mais ampla a

situação na qual ela está situada. A grande quantidade de sílica e dejetos de cimento em forma de pó, juntamente com a água no ambiente, por ser um local muito úmido acarreta na contaminação dos rolamentos e também foi possível visualizar como um problema para os rolamentos, a velocidade do corpo periférico, pois a rotação dos rolamentos da NSK que não estão dentro do motor são muito baixas.

Foi utilizado o seguinte método para estabelecer um coeficiente de acordo com a estimativa mais realística da empresa: Se o coeficiente de condições de uso apresentam 5 critérios de definição e é possível definir um número igual ou menor que um, então foram atribuídos pontos a esses critérios e cada critério identificado subtrairia 0,2 pontos, então como os rolamentos da correia transportadora não atenderam 2 critérios, o coeficiente final utilizado foi de 0,6.

Para finalizar a parte de coeficientes, o último utilizado foi o de confiabilidade. A NSK fornece a formulação do cálculo da vida útil dos rolamentos porém eles apresentam noventa por cento de confiabilidade, ou seja, existem chances da vida calculada não ser adequadamente a real. Portanto, ela também disponibiliza o coeficiente mencionado que pode fazer com que seja mais adequado a equação adicionando mais confiabilidade para ela. A seguir na Figura 11 é representado a confiabilidade utilizada no cálculo do trabalho:

Figura 11 - Valores de coeficiente de confiabilidade para correção da vida útil

Confiabilidade (%)	90	95	96	97	98	99
a_1	1,00	0,62	0,53	0,44	0,33	0,21

Fonte: Adaptado de Grupo NSK (2024).

Como apresentado na Figura 11 acima foi escolhido a confiabilidade de 99%, pois este é o único coeficiente que representa uma estimativa mais realística.

Para o cálculo da vida útil do rolamento Rolmax foi utilizado o catálogo do fabricante para encontrar a capacidade de carga básica dinâmica suportada no rolamento, a seguir é ilustrado a Figura 12 do catálogo Rolmax, contendo as informações do rolamento utilizado UCR-209:

Figura 12 - Dados técnicos do rolamento Rolmax UCR-209

Diâmetro nominal do furo		Série UCR-200	Dimensões em milímetros e polegadas							Capacidade básica de carga em Kgf		R.P.M Máx.
mm	polegada		D	C	B	S	d _i	M	r	Dinâmica C	Estática Co	
40	-	UCR-209-400										
45	-	UCR-209	85	22	49,23	19,05	57,30	7,90	2,80	2.510	1.780	3.700
-	1.1/2	UCR-209-24	3.346	0.866	1.938	0,750	2.256	0,311	0,110			
-	1.3/4	UCR-209-28										

Fonte: Adaptado de Rolmax (2024).

Com todos os dados foi possível calcular a vida útil com a equação dada na seção 2.3.1. Portanto, esta vida útil é obtida com seus parâmetros próprios de coeficientes de funcionamento operacional do rolamento, cabendo apenas a utilização do coeficiente de carga dado na seção 2.3.1, equação (8).

A lubrificação foi dividida em etapas. Como já exemplificado anteriormente possuem quatro rolamentos, porém apenas dois foram submetidos à lubrificação periódica, por motivos de, os rolamentos do motor da WEG já estarem devidamente lubrificados. No Quadro 1 a seguir é apresentada a identificação dos rolamentos utilizados, com os dados utilizados para a estimativa da lubrificação:

Quadro 1 - Dados Técnicos dos rolamentos para cálculo da vida útil

ROLAMENTOS (TCH)		
Identificação	Rotação	d
NSK 2215K	34,8rpm	75mm
Rolmax UCR-211	34,8rpm	45mm

Fonte: O autor.

No Quadro 1 representado acima são descritos dados que foram importantes para a estimação do intervalo de lubrificação dos rolamentos. Com esses dados o passo final foi utilizar os coeficientes dados pela fabricante na Figura 13 a seguir:

Figura 13 - Fatores de rolamento

Tipo de rolamento ¹⁾	Fator de rolamento
b_f	
-	-
Rolamentos rígidos de esferas	1
Rolamentos de esferas de contato angular	1
Rolamentos autocompensadores de esferas	1

Fonte: Grupo SKF (2024).

Como os rolamentos utilizados são autocompensadores de esferas o valor de b_f é um. Estes são os dados que são requeridos para obter a relação do gráfico. Ainda assim existe a relação já comentada C/P que foi utilizada para adquirir as curvas.

Para complementar, foram desempenhados cálculos da avaliação da quantidade de graxa utilizada pelos rolamentos. Com a equação (11) e (12) da seção 2.3.1 e os dados dos diâmetros externos e larguras totais dos rolamentos já apresentados na seção 3.1, foram calculadas as quantidades de graxa dos rolamentos externos ao motor.

Os resultados referentes à utilização do coeficiente 0,005 na equação para os rolamentos indicam que a lubrificação está acontecendo de maneira superficial na lateral, e o coeficiente 0,002 refere-se a utilização da lubrificação por furos no centro do anel do rolamento. É possível perceber que por isso quanto mais superficial for a lubrificação mais lubrificante irá utilizar. Todos os requisitos foram alcançados para poder determinar o intervalo de lubrificação que está sendo utilizado nos planos de manutenção da empresa. Para tanto, foi de suma importância adequar os valores com os métodos que foram verificados no gráfico antecipadamente na ilustração da Figura 6. E também adquirir os valores dos diâmetros dos rolamentos nas Figuras 8 e 12 para determinar a quantidade de graxa.

Tanto os tempos de lubrificação encontrados, quanto a quantidade de graxa nos rolamentos e a vida útil dos mesmos foram usadas para elaborar o *checklist* que foi

implantado na fábrica para monitoração da manutenção de maneira preventiva, minimizando ao máximo as corretivas.

3.2 Criação de checklists para manutenção preventiva e lubrificação

O *checklist* de manutenção foi feito com os componentes da correia transportadora que possivelmente poderiam falhar por algum motivo, e esse motivo seria a falta de inspeção realizada. Por isso foi criada uma planilha para inspeção nos subconjuntos de equipamentos da máquina. Existem 15 subconjuntos de equipamentos que possuem suas respectivas inspeções conforme a necessidade de cada um conforme a Figura 14 a seguir:

Figura 14 - Modelo de checklist de manutenção

CHECKLIST DE MANUTENÇÃO						Identificação FR.UZ/U4 Pag.	
CADASTRO E ACOMPANHAMENTO DOS EQUIPAMENTOS							
UI: _____		Armazenamento: Arq. Adm - Proteção: Pasta - Recuperação: Por Fornecedor/data - Retenção: Mínimo 01 ano - Disposição: Arquivo Morto 4 anos					
CÓDIGO		EQUIPAMENTO E SUBCONJUNTOS					
Equipamento	CC1	Setor/Central de Concreto I					
Subconjunto	2	Abastecimento					
Subconjunto	1	Transportador de correia horizontal TCH					
CÓDIGOS	SUBCONJUNTO	INSPEÇÃO	MÉTODO	MANUT. /TROCA	OK	SITUAÇÃO Intervenção	
						Imediata	Prog.(data)
CC1.2.1.1	Estrutura principal						
CC1.2.1.2	Roletes de carga e de retorno						
CC1.2.1.3	Cavaletes de carga e de retorno						
CC1.2.1.4	Módulo acionado						
CC1.2.1.5	Tambor acionado e acionador						
CC1.2.1.6	Mancais do tambor acionado e acionador						
CC1.2.1.7	Correia transportadora						
CC1.2.1.8	Redutor						
CC1.2.1.9	Motor						
CC1.2.1.10	Acionamento (motor e redutor)						
CC1.2.1.11	Colunas de sustentação						

Fonte: O autor.

O *checklist* está representado em duas partes com a continuação a seguir na Figura 15:

Figura 15 - Continuação do modelo de checklist de manutenção

CHECKLIST DE MANUTENÇÃO						Identificação FK.UZ/U4 Pag.			
CADASTRO E ACOMPANHAMENTO DOS EQUIPAMENTOS									
UI: _____		Armazenamento: Arq. Adm - Proteção: Pasta - Recuperação: Por Fornecedor/data - Retenção: Mínimo 01 ano - Disposição: Arquivo Morto 4 anos							
CÓDIGO		EQUIPAMENTO E SUBCONJUNTOS							
Equipamento	CC1	Setor/Central de Concreto I							
Subconjunto	2	Abastecimento							
Subconjunto	1	Transportador de correia horizontal TCH							
CÓDIGOS	SUBCONJUNTO	INSPEÇÃO	MÉTODO	MANUT. /TROCA	OK	SITUAÇÃO Intervenção			
						Imediata	Prog.(data)		
CC1.2.1.12	Direcionamento de material (bica)								
CC1.2.1.13	Raspador primário e secundário								
CC1.2.1.14	Vedações laterais								
CC1.2.1.15	Camada do material								
INTEGRANTES						DATA			
SUPERVISOR:									
MECÂNICO:									
CÓDIGOS		PROBLEMA							
Caso não haja checks, especifique e coloque o código do problema									

Fonte: O autor.

O *checklist* apresentado indica na primeira coluna a aba de códigos referentes à referência da correia transportadora. Como está indicando CC1.2.1, representa o primeiro número do código 1 central de concreto, pois a máquina fornece materiais para produção do mesmo, abastecimento 2, pelo mesmo fato e 1 o tipo de máquina que é a correia transportadora.

Na parte dos subconjuntos de componentes foram adicionados os equipamentos que são suscetíveis a falhas para realização das inspeções. As inspeções são feitas de acordo com cada equipamento e sua necessidade e monitoração, que serão abordadas na seção 4.4. As intervenções podem ser imediatas ou programadas em relação à situação de cada falha, e é importante anotar todos os códigos e datas para especificar o problema.

Ainda com o monitoramento da correia transportadora como um todo em seus componentes mecânicos, foi necessário realizar a elaboração do *checklist* de lubrificação, que está retratado na Figura 16:

Figura 16 – Modelo de *checklist* de lubrificação

CHECKLIST DE LUBRIFICAÇÃO						Identificação FR.02/04	
CADASTRO E ACOMPANHAMENTO DOS EQUIPAMENTOS						Pág.	
UI: _____		Armazenamento: Arq. Adm - Proteção: Pasta - Recuperação: Por Fornecedor/data - Retenção: Mínimo 01 ano - Disposição: Arquivo Morto 4 anos					
CÓDIGO		EQUIPAMENTO E SUBCONJUNTOS					
Equipamento	CC1	Setor/Central de Concreto I					
Subconjunto 1	2	Abastecimento					
Subconjunto 2	1	Transportador de correia horizontal TCH					
ROLAMENTO	QUANTIDADE DE GRAXA	TEMPO DE TROCA	TEMPO DE LUBRIFICAÇÃO	TIPO DE LUBRIFICANTE	OK	SITUAÇÃO	
						Intervenção	
						Imediata	Prog.(data)
NSK 2215K							
Rolmax UCR-209							
NSK 6207ZZ							
NSK 6308ZZ							
INTEGRANTES						DATA	
SUPERVISOR:							
LUBRIFICADOR:							
CÓDIGOS		PROBLEMA					
Caso não haja checks, especifique e coloque o código do problema							

Fonte: O autor.

Conforme apresentado na Figura 16, ela é dividida em colunas onde existem os tipos de rolamentos utilizados, a quantidade de graxa calculada, o tempo de lubrificação para cada rolamento e o tipo de lubrificante utilizado. Quando o lubrificador realizar a lubrificação é necessário que marque um xis no ok constatando a execução, e logo após indicar a data. Se houver algum problema, indicar nos espaçamentos.

3.3 Como as inspeções foram criadas (manutenção e lubrificação)

Para a criação das inspeções foi fundamental primeiro ter uma análise técnica e prática a respeito do que está ocorrendo com a situação da máquina. No caso da correia transportadora, não existia manutenção preventiva o que fazia com que as paradas de produção fossem muito mais constantes, porque somente seria reparada a falha e monitorada quando esta apresentasse algum dano à produção. Então, a observação dos fatores que fazem com que esse fenômeno ocorra juntamente com técnicas práticas e profissionais da área da engenharia, conduz a elaboração das inspeções preventivas. A seguir, é demonstrado como esse processo ocorreu no plano de manutenção deste trabalho:

3.3.1 Inspeções dos roletes de carga e de retorno

Para designar as inspeções para esse conjunto de equipamento foi necessário atentar a alguns detalhes, entre eles é possível definir:

- a) Atrito excessivo;
- b) Carga excessiva;
- c) Desalinhamento dos roletes;
- d) Acúmulo de sujeira nos roletes;
- e) Falta de lubrificação.

Somente isso não é suficiente para criar uma planilha de manutenção, como mostra a figura 17:

Figura 17 - Inspeções dos roletes de carga e roletes de retorno

SUBCONJUNTO	INSPEÇÃO	MÉTODO	MANUT. /TROCA
Roletes de carga e de retorno	Desgastes da estrutura tubular	Visual	24h
	Rolamentos, ruído diferente ou travado	Visual e auditivo	24h/est
	Eixos	Visual	24h
	Mancais	Visual	24h

Fonte: O autor.

Analisando a Figura 17 é comum perceber que as causas dos problemas se assemelham as inspeções. O atrito excessivo causado pela possível falta de lubrificação, acúmulo de sujeira nos roletes e desalinhamento, vibração, etc, fizeram necessários os métodos de avaliação preventivo visual e auditivo do equipamento para validar se há ou não a ocorrência de defeitos. E o período foi estabelecido para diminuir as ocorrências de paradas da correia transportadora. Na imagem “est” significa estimado, o que quer dizer que a vida útil dos rolamentos foram estimadas.

3.3.2 Inspeções dos cavaletes de carga e de retorno

Esse tipo de inspeção pode ser menos trabalhosa por se tratar de uma parte estrutural da correia transportadora. Os cavaletes de carga podem ser responsáveis por vários fatores que desencadeiam falhas em sua estrutura. É possível apresentar alguns exemplos:

- a) Desgaste dos rolos;
- b) Desalinhamento;
- c) Danos mecânicos;
- d) Acúmulo de material;
- e) Corrosão.

O fato de esses fatores ocorrerem fizeram necessárias as inspeções preventivas com algum método, que no caso escolhido foi o visual para estrutura como um todo no intervalo de um dia, e para os fixadores utilizar a chave para aperto se for necessário. A seguir é resumido de maneira mais exata na Figura 18 a elaboração da inspeção nesse subconjunto:

Figura 18 - Inspeções dos cavaletes de carga e cavaletes de retorno

SUBCONJUNTO	INSPEÇÃO	MÉTODO	MANUT. /TROCA
Cavaletes de carga e de retorno	Estrutura	Visual	24h
	Fixadores	Visual e aplic. chave	24h

Fonte: O autor.

De acordo com a Figura 18, existe uma subdivisão dos dados, primeiro o subconjunto, depois a inspeção, o método e a manutenção, como já abordado na seção 3.3.1. O subconjunto conta com os cavaletes de carga e os cavaletes de retorno, as inspeções, como são prioritariamente voltada à questão estrutural são estruturais, pois é um equipamento estrutural, como se trata de uma preventiva foi importante utilizar o método visual também.

3.3.3 Inspeções dos mancais do tambor acionado e do tambor acionador

Os mancais do tambor acionador e acionado podem ao longo do tempo sofrer com muitos problemas, que podem justificar a necessidade de preventivas, dentre eles a falta de

lubrificação, desalinhamento no tambor acionador e acionado, desgastes nos rolamentos e danos mecânicos. A seguir na Figura 19 é ilustrado como ocorrem às inspeções dos mancais dos tambor, tanto o acionador quanto o acionado.

Figura 19 - Inspeções dos Mancais do tambor acionado e acionador

SUBCONJUNTO	INSPEÇÃO	MÉTODO	MANUT. /TROCA
Mancais do tambor acionado e acionador	Rolamentos, ruído diferente, lubrificação	Visual e auditivo	24h/est
	Integridade da estrutura	Visual	24h
	Fixadores	Visual e aplic. chave	24h

Fonte: O autor.

As inspeções como já mencionado nas seções anteriores, e visto na Figura 19, acontecem da mesma maneira, porém como esse subconjunto possui seu diferencial que são os rolamentos coincidentemente com a seção 3.3.1. Existe uma estimativa (est) de cálculo, para definir a vida útil dos rolamentos dos mancais e assim determinar quando eles serão trocados. A integridade da estrutura foi utilizado o método visual preventivo para evitar corrosões, deformações de excessivas cargas e impactos de objetos móveis. As inspeções dos rolamentos são feitas auditivamente pois com a falta de lubrificação e acúmulo de detritos entre o mancal e o próprio rolamento, é gerado ruído.

3.3.4 Inspeções do tambor acionador e acionado

Basicamente por estar em contato indireto com o transporte de materiais, o tambor acionador e o acionado estão sujeitos a desgastes prematuros pela ocorrência do acúmulo de materiais em seu entorno, se não forem feitas as devidas inspeções. O desalinhamento pode gerar desgaste também, portanto, a seguir na Figura 20 são apresentadas as inspeções selecionadas para este subconjunto de equipamento:

Figura 20 - Inspeções do tambor acionador e acionado

SUBCONJUNTO	INSPEÇÃO	MÉTODO	MANUT. /TROCA
Tambor acionador e acionado	Revestimento, desgastes, material dispensável	Visual	24h
	Alinhamento	Visual	24h
	Eixo	Visual	24h

Fonte: O autor.

Como visto na Figura 20, é importante realizar checagens de 24 em 24 horas a fim de garantir se não existe nenhum desgaste tanto nos eixos quanto nos tambores, pelos fatores mencionados.

3.3.5 Inspeções do raspador primário e secundário

Os raspadores tem um papel importante na correia transportadora, eles ajudam a eliminar todos os materiais que sobram e caem embaixo das tramas de poliéster. Porém, com o passar do tempo os raspadores vão sofrendo impacto direto sobre desgastes, posicionamento, alinhamento, aperto de parafusos, etc, por conta do fluxo de materiais exercendo pressão sobre eles. Abaixo na Figura 21 é ilustrado as inspeções do subconjunto:

Figura 21 - Inspeções do raspador primário e secundário

SUBCONJUNTO	INSPEÇÃO	MÉTODO	MANUT. /TROCA
Raspador primário e secundário	Desgastes	Visual	24h
	Posicionamento	Visual	24h
	Fixadores	Visual e aplic. chave	24h

Fonte: O autor.

Como visto na Figura 21, é de suma importância diariamente visualizar a respeito dos desgastes e alinhamento, pois o fluxo de material exerce pressão sobre os raspadores. Existem dois raspadores na fábrica, porém, eles possuem as mesmas inspeções.

3.3.6 Inspeções do motor, redutor e acionamento do motor e redutor

O acionamento do motor e do redutor é feito através de polias e essas polias precisam estar bem alinhadas, pois se isso não ocorrer, com o tempo podem gerar vibrações que comprometeriam o funcionamento do equipamento. Os fixadores do motor são importantes sempre apertar, pois existe a chance de soltar com o uso. A Figura 22 representa a inspeção de cada fator:

Figura 22 - Inspeções do motor, redutor e acionamento do motor e redutor

SUBCONJUNTO	INSPEÇÃO	MÉTODO	MANUT. /TROCA
Motor	Base	Visual	24h
	Fixadores	Visual e aplic. chave	24h
	Eixo	Visual	24h
	Componentes	Visual e aplic. chave	24h
	Polia	Visual	24h
Redutor	Nível de óleo	Visual	24h
	Eixo	Visual	24h
	Componentes	Visual e aplic. chave	24h
	Polia	Visual	24h
	Esticador	Visual	24h
Acionamento (motor e redutor)	Transmissão de potência	Visual	24h
	Alinhamento de polias	Visual	24h
	Tensão das correias	Visual	24h/1 ano

Fonte: O autor.

Na Figura 22 é visto que, possui uma ordem a ser seguida de manutenção como já mencionado, e no mesmo modelo de verificação de inspeção, a preferência foi pela forma visual, apesar de que alguns componentes por se tratar de parafusos precisam de apertos temporários.

3.3.7 Inspeções nas estruturas de sustentação e na bica da correia transportadora

A estrutura de sustentação da correia transportadora é importante para o funcionamento da mesma, porém, quando bem projetada, requer apenas alguns cuidados

específicos para manter o seu funcionamento. A empresa em questão não possuía manutenção preventiva como já mencionado, portanto era muito comum ocorrer trincas nas soldas e desgastes nas estruturas com o tempo. O ambiente onde é produzido o concreto é muito úmido, isso é muito propício para o surgimento de corrosões nos materiais, por isso optou-se pela utilização da planilha ilustrada na Figura 23 para facilitar a inspeção e adotar a preventiva na fábrica:

Figura 23 - Inspeções nas estruturas e na bica da correia transportadora

SUBCONJUNTO	INSPEÇÃO	MÉTODO	MANUT. /TROCA
Estrutura principal	Perfil U6", trincas nas soldas	Visual	24h
	Fixadores das flanges	Visual e aplic. chave	24h
Colunas de sustentação	Integridade estruturas, desgaste, trincas nas soldas	Visual	24h
	Base	Visual	24h
	Fixadores	Visual e aplic. chave	24h
Direcionamento de material (bica)	Integridade estrutural, desgaste, trincas nas soldas	Visual	24h
	Fixadores	Visual e aplic. chave	24h
	Regulagem	Visual	24h

Fonte: O autor.

A figura 23 ilustra adequadamente todos os passos que foram seguidos na empresa para a adoção da preventiva a fim de minimizar as corretivas, com todas as inspeções e seus principais pontos.

3.3.8 Inspeções na correia transportadora, vedações laterais, camada do material e módulo acionado

Quando o Transportador de Correia Horizontal (TCH) é utilizado por um período de trabalho que seja, geram alguns defeitos que precisam ser corrigidos, quando não corrigidos, problemas piores podem ocorrer. Era comum na fábrica de dormentes, como ela não possuía preventiva, a máquina funcionava durante um tempo, logo após algum equipamento falhava e a máquina inteira ficava em manutenção, o que é comum chamar de manutenção corretiva.

Atualmente existe na empresa a preventiva e ela é dada com base em planilhas conforme já dito anteriormente, aperfeiçoando as técnicas de manutenção e garantindo menos falhas. Abaixo na Figura 24 é exemplificada a planilha deste conjunto de inspeção selecionada:

Figura 24 - Inspeções da trama de poliéster da correia transportadora e materiais acumulados

SUBCONJUNTO	INSPEÇÃO	MÉTODO	MANUT. /TROCA
Correia transportadora	Integridade, desgastes	Visual	24h/2 anos
	Trama de poliéster solta nas laterais	Visual	24h
	Alinhamento	Visual	24h
	Condição da emenda	Visual	24h
Módulo acionado	Estrutura	Visual	24h
	Flanges, fixadores	Visual e aplic. chave	24h
	Esticador	Visual	24h
Vedações laterais	Integridade estrutural	Visual	24h
	Fixadores	Visual e aplic. chave	24h
	Elemento de vedação	Visual	24h
Camada do material	Altura 60mm	Visual	24h/10 dias

Fonte: O autor.

Em conformidade com a Figura 24, é notado que as inspeções desse grupo selecionado da correia transportadora têm o caráter mais voltado para relação da correia em si. Foi preciso checar os elementos de vedação pois os materiais transportados podem entrar na parte onde não estiver vedada, como também garantir que a camada de material esteja sempre conforme indicada, pois se for maior pode haver desperdício e menor, entupimento da portinhola. As inspeções como integridade e desgastes são feitas nas estruturas da correia transportadora por conta de corrosões e cargas excessivas. Os apertos de parafusos também são realizados diariamente se necessário.

3.4 Comparação dos dados com base nos indicadores de manutenção

Como visto anteriormente, a ferramenta utilizada para cálculo da relação do desempenho efetivo de uma máquina é o MTTR e o MTBF e foi utilizada para determinar a viabilidade da aplicação do plano de manutenção implantado sob o funcionamento da correia transportadora. Logo após com a disponibilidade, a comparação dos períodos analisados foi feita.

A seguir na Figura 25, são relatados os dados de paradas da correia transportadora no período de Agosto de 2022 a Janeiro de 2023.

Figura 25 - Paradas da correia transportadora de 08/22 a 01/23

TRANSPORTADOR DE CORREIA HORIZONTAL (TCH)					
Período de análise	Data das paradas	Horas mensais trabalhadas	Quantidade total de falhas	Tempo de reparo	Causa
Agosto/2022 até Janeiro/2023	15/08/2022	156h	6	24h	Rolamento danificado
	20/09/2022			8h	Motor/troca
	01/10/2022			1h	Raspador primário
	14/11/2022			3h	Tramas de poliéster
	12/12/2022			20h	Rolamento danificado
	09/01/2023			2h	Raspador secundário

Fonte: O autor.

Como visto na Figura 25, e apresentado, a correia transportadora apresentou no período de 6 meses uma quantidade total de 6 falhas, uma em cada mês, ocasionadas por diferentes tipos de problemas ou falhas de manutenção. Como abordado anteriormente, a fábrica não possuía manutenção preventiva, então todos os equipamentos secundários da correia transportadora que sofressem algum desgaste ou necessidade de troca, possivelmente haveria a necessidade da parada total da produção, porém com o plano de manutenção esse cenário mudou.

Abaixo na Figura 26 é apresentada a relação de falhas dos anos em que foi implantado o plano de manutenção:

Figura 26 - Paradas da correia transportadora de 12/23 a 05/24

TRANSPORTADOR DE CORREIA HORIZONTAL (TCH)					
Período de análise	Data das paradas	Horas mensais trabalhadas	Quantidade total de falhas	Tempo de reparo	Causa
Dezembro de 2023	Não houve parada	156h	2	Não se aplica	Não se aplica
Janeiro de 2024	18/01/2024			15h	Rolamento danificado
Fevereiro de 2024	Não houve parada			Não se aplica	Não se aplica
Março de 2024	Não houve parada			Não se aplica	Não se aplica
Abril de 2024	15/04/2024			0,5h	Raspador secundário
Maio de 2024	Não houve parada			Não se aplica	Não se aplica

Fonte: O autor.

Os resultados obtidos das falhas decorrentes do período acima mostram que, após implantar a manutenção preventiva, eliminando a exclusividade da corretiva, fez com que diminuísse drasticamente o tempo entre as falhas e a quantidade de falhas totais. Assim sendo, já foi possível calcular a disponibilidade com os indicadores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentadas tanto a comparação dos dados de falhas da correia transportadora em períodos isolados (com os indicadores de manutenção): O primeiro em Agosto de 2022 até Janeiro de 2023 e o segundo de Dezembro de 2023 até Maio de 2024 quanto a utilização dos indicadores MTTR e MTBF para comparação dos dados anteriores de falhas com os coletados, e verificar a presença de melhorias na utilização do novo sistema de manutenção. Também, com tudo pronto é possível visualizar a planilha de manutenção.

4.1 Vida útil dos rolamentos

Para estabelecer a vida útil dos rolamentos foi necessário utilizar as fórmulas prescritas acima tanto na seção 3 quanto na seção 2 e utilizar de ilustração de gráficos. Como mencionado, existem quatro tipos de rolamentos na correia transportadora, então a figura 27 a seguir ilustra a obtenção de cada uma delas:

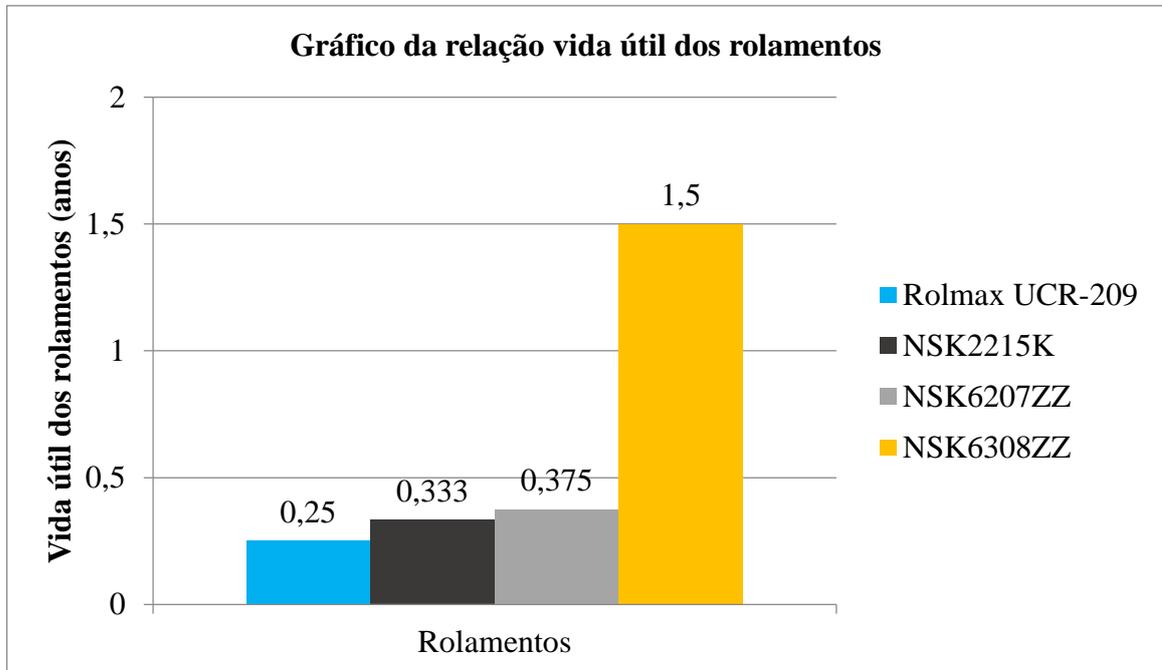
Figura 27 - Resolução do cálculo da vida útil dos rolamentos

ROLAMENTOS			
NSK 2215K	NSK 6308ZZ	NSK 6207ZZ	Rolmax UCR-209
$fn = (0,03.34,8)^{-1/3}$	$Fr = \frac{19,1.10^6 \cdot 7,355.2}{1165.120}$	$Fr = \frac{19,1.10^6 \cdot 7,355.2}{1165.120}$	$P = 12000.1,2$
$fn = 0,9857$	$Fr = 2009,735N$	$Fr = 2009,735N$	$P = 14400N$
$Fr = 12000.1,2$	$Fr = 2009,735.1,2$	$Fr = 2009,735.1,2$	$L = \frac{16666}{34,8} \cdot \left(\frac{24623,10}{14400} \right)^3$
$Fr = 14400N$	$Fr = 2411,682N$	$Fr = 2411,682N$	
$fh = 0,9857 \cdot \frac{44500}{14400}$	$fn = (0,03.1165)^{-1/3}$	$fn = (0,03.1165)^{-1/3}$	$L = 2394,378h$
$fh = 3,046$	$fn = 0,3058$	$fn = 0,3058$	$L = 3 meses$
$Lh = 500.3,046^3$	$fh = 0,3058 \cdot \frac{40500}{2411,682}$	$fh = 0,3058 \cdot \frac{25700}{2411,682}$	
$Lh = 14130,57h$	$fh = 5,135$	$fh = 3,258$	
$L_{na} = 0,6.1,5.0,21.14130,57$	$Lh = 500.5,135^3$	$Lh = 500.3,258^3$	
$L_{na} = 2670,67h$	$Lh = 67700,417h$	$Lh = 17291,12h$	
$L_{na} = 4 meses$	$L_{na} = 0,6.1,5.0,21.67700,41$	$L_{na} = 0,6.1,5.0,21.17291,12$	
	$L_{na} = 12795,37h$	$L_{na} = 3268,02h$	
	$L_{na} = 1 ano e meio$	$L_{na} = 4 meses e meio$	

Fonte: O autor.

Para facilitar a compreensão dos resultados foi apresentado o Gráfico 1, que mostra a relação dos valores obtidos:

Gráfico 1 - Vida útil dos rolamentos em anos



Fonte: O autor.

Como estabelecido e ilustrado no gráfico 1 acima, foram encontradas as vidas úteis dos rolamentos, sendo os rolamentos internos do motor estimados com mais tempo até a troca e os externos por estarem sujeitos a cargas aplicadas maiores, com menos tempo. É possível perceber que a força radial presente nos rolamentos do motor foram comprometidas sendo relativamente baixas por conta da alta rotação.

4.2 Intervalo de relubrificação dos rolamentos

Antes de encontrar no gráfico ilustrado foi preciso calcular na Figura 28 o diâmetro médio do rolamento e o fator de rolamento já apresentados na seção 2.3.1.:

Figura 28 - Resolução do cálculo do diâmetro médio dos rolamentos

NSK2215K	Rolmax UCR-209
$dm = 0,5 \cdot (130 + 75)$	$dm = 0,5 \cdot (45 + 85)$
$dm = 102,5mm$	$dm = 65mm$

Fonte: O autor.

Com o diâmetro encontrado a resolução da relação C/P e também da rotação, diâmetro médio e fator de rolamento para cada rolamento pode ser obtida na Figura 29:

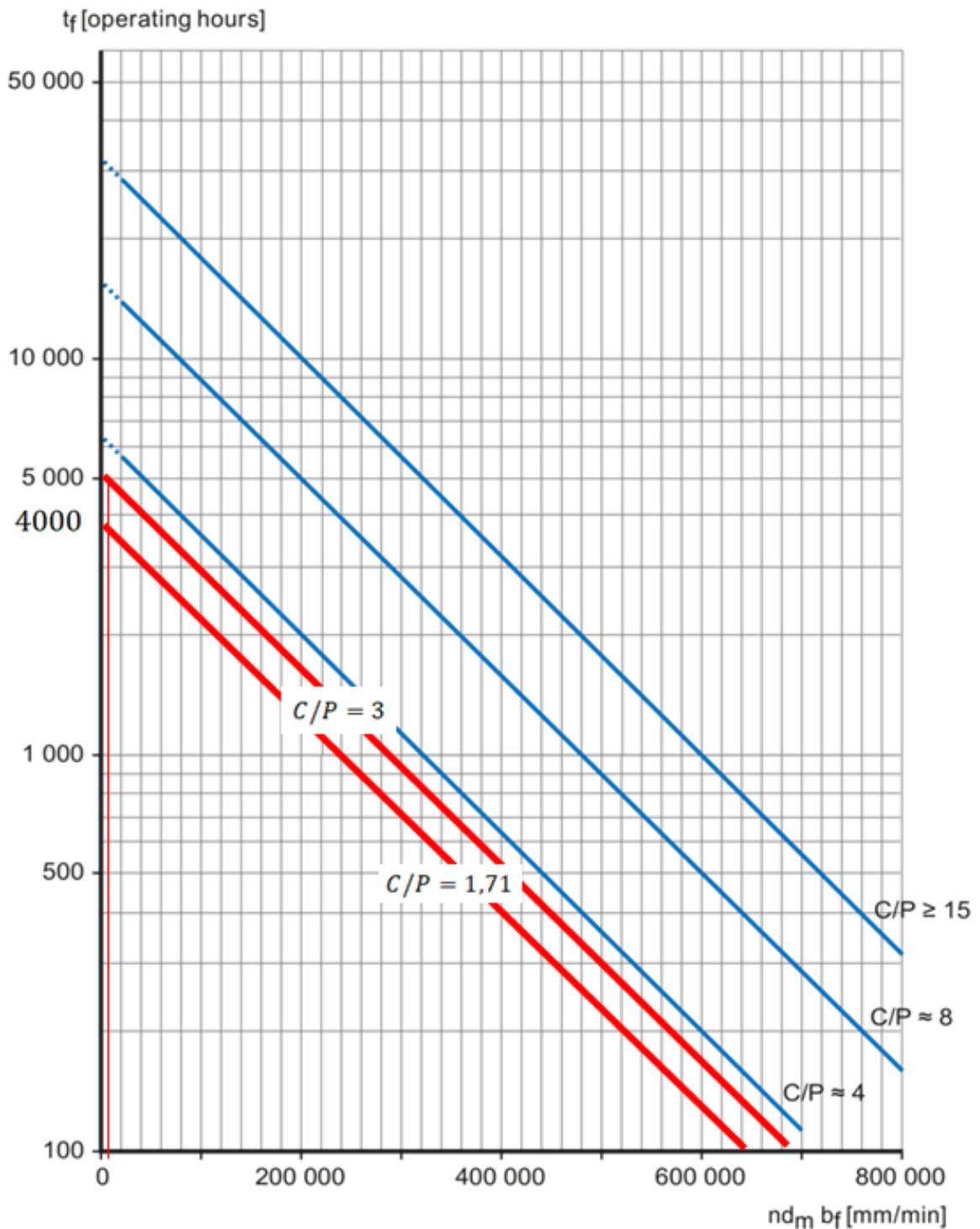
Figura 29 - Resolução dos cálculos relacionados ao gráfico de relubrificação

NSK2215K	Rolmax UCR-209
$n \cdot dm \cdot bf$	$n \cdot dm \cdot bf$
$34,8 \cdot 102,5 \cdot 1 = 3567$	$34,8 \cdot 65 \cdot 1 = 2262$
C/P	C/P
$\frac{44500}{14400} = 3,09$	$\frac{24623,10}{14400} = 1,71$

Fonte: O autor.

Esses resultados foram os responsáveis pela determinação da relubrificação como ilustrado na Figura 30 a seguir:

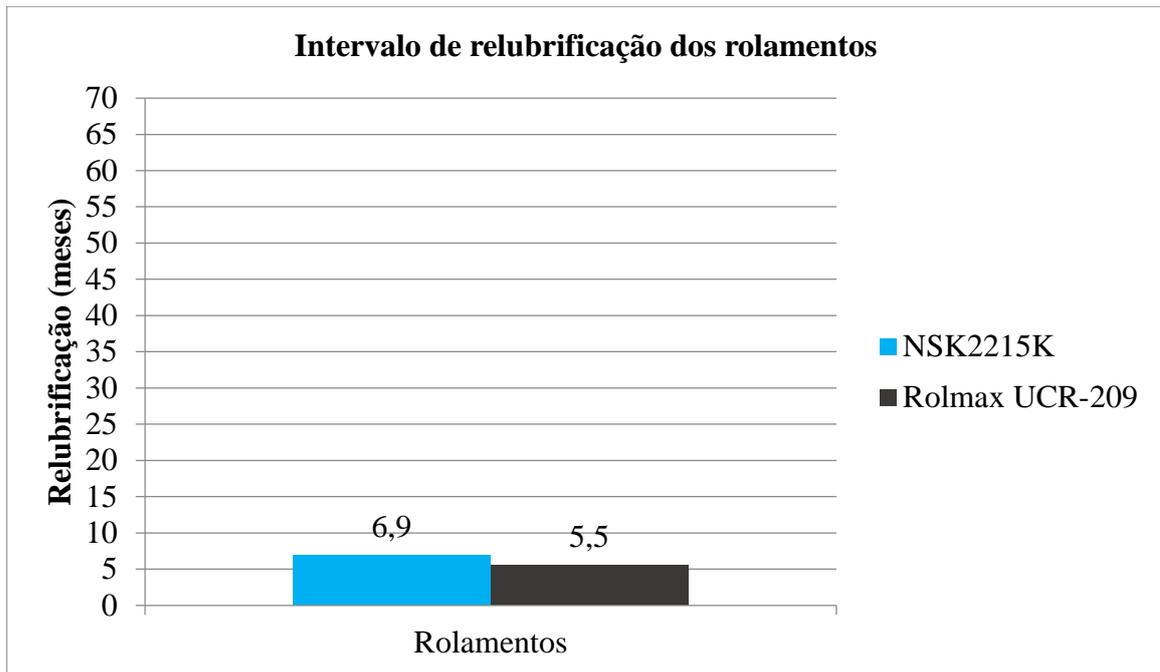
Figura 30 - Seleção do intervalo de relubrificação no gráfico para os rolamentos



Fonte: Adaptado de Grupo SKF (2023).

A Figura 30 mostra que os valores para a relubrificação foram achados e o rolamento NSK2215K possui 5000 horas de intervalo de uma lubrificação até outra. Já o rolamento Rolmax UCR-209 precisa de 4000 horas sob as condições de trabalho apresentadas. No Gráfico 2 a seguir é possível perceber a conversão para meses:

Gráfico 2 - Intervalo de relubrificação dos rolamentos em meses



Fonte: O autor.

No gráfico 2 acima é notado que os meses de lubrificação giram entorno de 5 a 7 de relubrificação, dependendo de cada rolamento, cada condição específica de cálculo e fabricante.

4.3 Quantidade de graxa dos rolamentos

Com as equações já prescritas e as ilustrações das tabelas dos fabricantes dos rolamentos de cada marca, foi utilizada a equação da quantidade de graxa para determinar o quanto de lubrificante é necessário colocar nos rolamentos. Na Figura 31 são estabelecidos os valores para os rolamentos que necessitam de graxa:

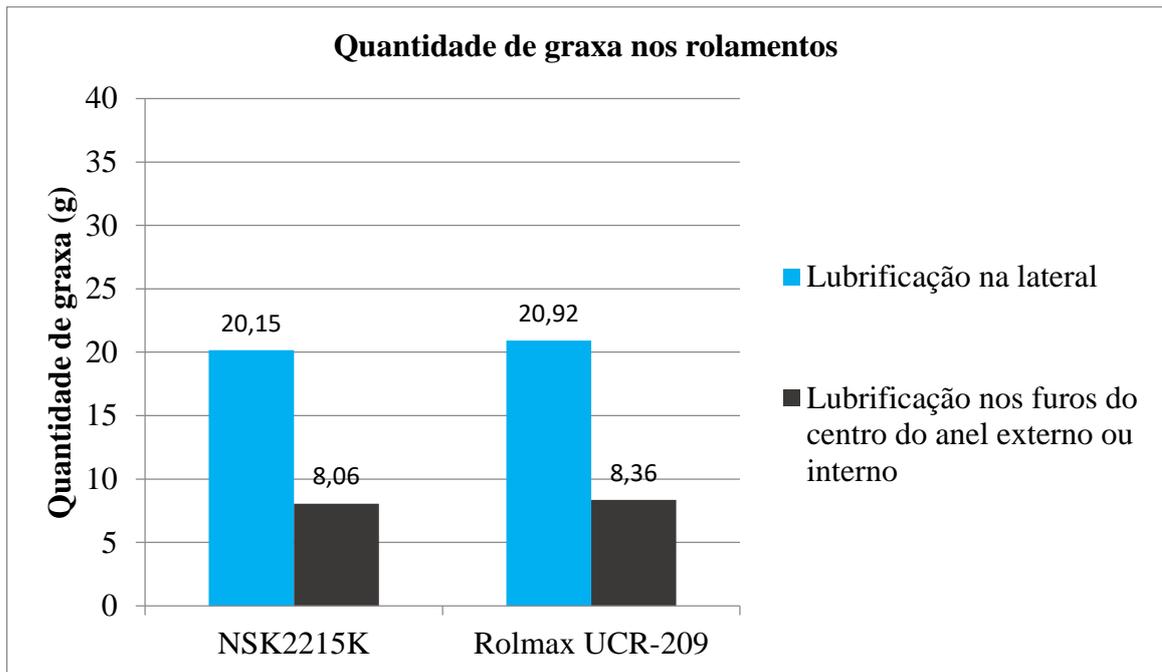
Figura 31 - Resolução do cálculo da quantidade de graxa para cada rolamento

NSK2215K	Rolmax UCR-209
$Gp = 0,005.31.130$	$Gp = 0,005.49,23.85$
$Gp = 20,15g$	$Gp = 20,92g$
$Gp = 0,002.31.130$	$Gp = 0,002.49,23.85$
$Gp = 8,06g$	$Gp = 8,36g$

Fonte: O autor.

Na Figura 31 são vistos dois valores atribuídos para os dois tipos de rolamentos, por conta de que quanto o fator multiplicativo na equação é igual a 0,005 a quantidade de graxa é referente à lubrificação externa ao rolamento, na lateral, e quando o fator é 0,002 é feita pelos furos do centro do anel externo ou interno. A melhor exemplificação do resultado é dada no Gráfico 3 a seguir:

Gráfico 3 - Quantidade de graxa nos rolamentos em gramas



Fonte: O autor.

Adquirindo a quantidade de graxa específica dos rolamentos, juntamente com todos os itens já coletados nessa seção foi viável montar o *checklist* completo de manutenção e lubrificação que será apresentado na seção 4.4.

4.4 Checklist de manutenção e lubrificação

Para a montagem dos *checklists* foi necessária a elaboração dos cálculos já exemplificados, do planejamento das planilhas de cada segmento (seja de manutenção preventiva ou lubrificação) e agrupar nos conformes da empresa. Abaixo é representada na Figura 32 uma ilustração da planilha de manutenção preventiva completa:

Figura 32 - Checklist de manutenção, com as inspeções, métodos e intervalos de inspeção preventiva

CHECKLIST DE MANUTENÇÃO					Identificação		
CADASTRO E ACOMPANHAMENTO DOS EQUIPAMENTOS					FR.02/04		
UI: _____					Pág.		
Armazenamento: Arq. Adm - Proteção: Pasta - Recuperação: Por Fornecedor/data - Retenção: Mínimo 01 ano - Disposição: Arquivo Morto 4 anos							
CODIGO		EQUIPAMENTO E SUBCONJUNTOS					
Equipamento	CC1	Setor/Central de Concreto I					
Subconjunto 1	2	Abastecimento					
Subconjunto 2	1	Transportador de correia horizontal TCH					
CÓDIGOS	SUBCONJUNTO	INSPEÇÃO	MÉTODO	MANUT. /TROCA	SITUAÇÃO		
					OK	Intervenção	
						Imediata	Prog.(data)
CC1.2.1.1	Estrutura principal	Perfil U6", trincas nas soldas	Visual	24h			
		Fixadores das flanges	Visual e aplic. chave	24h			
CC1.2.1.2	Roletes de carga e de retorno	Desgastes da estrutura tubular	Visual	24h			
		Rolamentos, ruído diferente ou travado	Visual e auditivo	24h/4 meses			
		Eixos	Visual	24h			
CC1.2.1.3	Cavaletes de carga e de retorno	Mancais	Visual	24h			
		Estrutura	Visual	24h			
CC1.2.1.4	Módulo acionado	Fixadores	Visual e aplic. chave	24h			
		Estrutura	Visual	24h			
CC1.2.1.5	Tambor acionador e acionado	Flanges, fixadores	Visual e aplic. chave	24h			
		Esticador	Visual	24h			
		Revestimento, desgastes, material dispensável	Visual	24h			
CC1.2.1.6	Mancais do tambor acionado e acionador	Alinhamento	Visual	24h			
		Eixo	Visual	24h			
		Rolamentos, ruído diferente, lubrificação	Visual e auditivo	24h/3 meses			
CC1.2.1.7	Correia transportadora	Integridade da estrutura	Visual	24h			
		Fixadores	Visual e aplic. chave	24h			
		Trama de poliéster solta nas laterais	Visual	24h			
CC1.2.1.8	Redutor	Alinhamento	Visual	24h			
		Condição da emenda	Visual	24h			
		Nível de óleo	Visual	24h			
		Eixo	Visual	24h			
		Componentes	Visual e aplic. chave	24h			
CC1.2.1.9	Motor	Polia	Visual	24h			
		Esticador	Visual	24h			
		Base	Visual	24h			
		Fixadores	Visual e aplic. chave	24h			
		Eixo	Visual	24h			
CC1.2.1.10	Acionamento (motor e redutor)	Componentes	Visual e aplic. chave	24h			
		Polia	Visual	24h			
		Transmissão de potência	Visual	24h			
		Alinhamento de polias	Visual	24h			
CC1.2.1.11	Colunas de sustentação	Tensão das correias	Visual	24h/1 ano			
		Integridade estruturas, desgaste, trincas nas soldas	Visual	24h			
		Base	Visual	24h			
		Fixadores	Visual e aplic. chave	24h			

Fonte: O autor.

A Figura 32 acima foi dividida em duas partes, a segunda está ilustrada a seguir:

Figura 33 - Continuação do checklist de manutenção, com as inspeções, métodos e intervalos de inspeção preventiva

CC1.2.1.12	Direcionamento de material (bica)	Integridade estrutural, desgaste, trincas nas soldas	Visual	24h			
		Fixadores	Visual e aplic. chave	24h			
		Regulagem	Visual	24h			
CC1.2.1.13	Raspador primário e secundário	Desgastes	Visual	24h			
		Posicionamento	Visual	24h			
		Fixadores	Visual e aplic. chave	24h			
CC1.2.1.14	Vedações laterais	Integridade estrutural	Visual	24h			
		Fixadores	Visual e aplic. chave	24h			
		Elemento de vedação	Visual	24h			
CC1.2.1.15	Camada do material	Altura 60mm	Visual	24h/10 dias			
INTEGRANTES						DATA	
SUPERVISOR:							
MECÂNICO:							
CÓDIGOS		PROBLEMA					
Caso não haja checks, especifique e coloque o código do problema							

Fonte: O autor.

A Figura 33 apresenta as inspeções nos subconjuntos de equipamentos da empresa já elaboradas conforme especificadas por estimativas de cálculo teórico nesta seção e também conhecimento adquirido de pesquisas. O modelo de *checklist* escolhido ficou compacto e útil para poder realizar as inspeções. Ainda assim, existe o de lubrificação que pode ser exemplificado na Figura 34 a seguir:

Figura 34 - Checklist de lubrificação com os dados de projeto

CHECKLIST DE LUBRIFICAÇÃO					Identificação	
CADASTRO E ACOMPANHAMENTO DOS EQUIPAMENTOS					FR.02/04	
UI: _____					Pág.	
Armazenamento: Arq. Adm - Proteção: Pasta - Recuperação: Por Fornecedor/data - Retenção: Mínimo 01 ano - Disposição: Arquivo Morto 4 anos						
CÓDIGO		EQUIPAMENTO E SUBCONJUNTOS				
Equipamento	CC1	Setor/Central de Concreto I				
Subconjunto 1	2	Abastecimento				
Subconjunto 2	1	Transportador de correia horizontal TCH				
ROLAMENTO	QUANTIDADE DE GRAXA	TEMPO DE TROCA	TEMPO DE LUBRIFICAÇÃO	TIPO DE LUBRIFICANTE	SITUAÇÃO	
					OK	Intervenção
					Imediata	Prog.(data)
NSK 2215K	20,15g(L) 8,06g(F)	4 meses	6 meses	Lumobras Molykote BR-2 Plus		
Rolmax UCR-209	20,92g(L) 8,36g(F)	3 meses	5 meses	Lumobras Molykote BR-2 Plus		
NSK 6207ZZ	Não se aplica	4 meses e meio	Não se aplica	Não se aplica		
NSK 6308ZZ	Não se aplica	1 ano e meio	Não se aplica	Não se aplica		
INTEGRANTES					DATA	
SUPERVISOR:						
LUBRIFICADOR:						
CÓDIGOS	PROBLEMA					
	Caso não haja checks, especifique e coloque o código do problema					

Fonte: O autor.

Com esse modelo seguido de lubrificação e troca de rolamentos foi possível manter uma manutenção mais ativa, prevenindo falhas repentinas nos rolamentos, causando danos à máquina TCH como um todo.

4.5 Comparação dos indicadores manutenção MTTR e MTBF e disponibilidade

Como informado anteriormente o período de comparação dos indicadores de manutenção MTTR e MTBF foram entre os períodos de Agosto de 2022 a Janeiro de 2023 e Dezembro de 2023 a Maio de 2024. Para a obtenção dos indicadores foram utilizadas as fórmulas indicadas na seção 2.2.1. A resolução dos indicadores e disponibilidade é feita na Figura 35 a seguir:

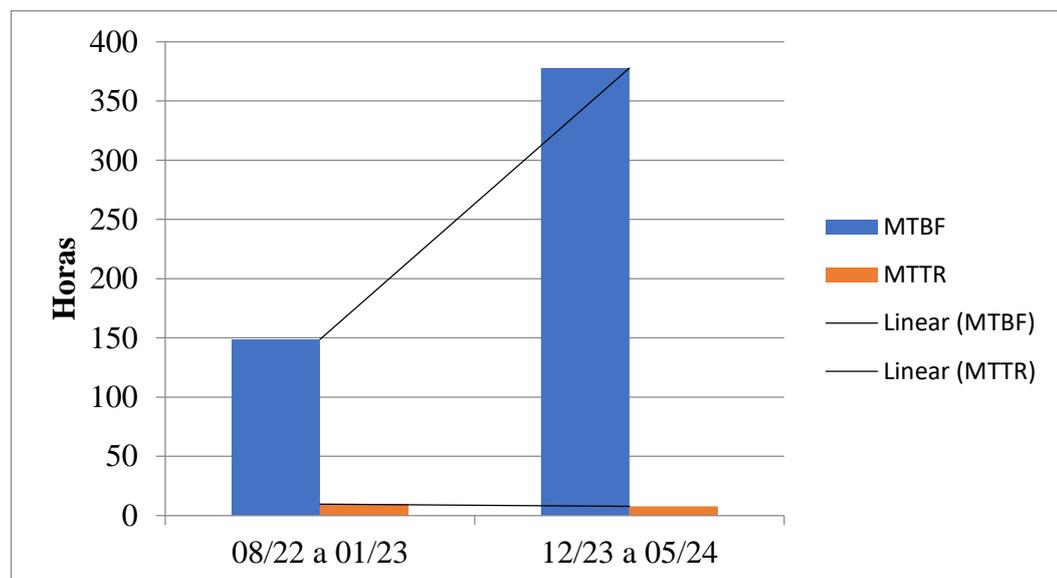
Figura 35 - Resolução do cálculo dos indicadores de manutenção MTTR, MTBF e disponibilidade dos períodos analisados

PERÍODOS	
08/22 a 01/23	12/23 a 05/24
MTBF	MTBF
$MTBF = \frac{186 + 66 + 210 + 138 + 144}{5}$ $MTBF = 148,8h$	$MTBF = \frac{378}{1}$ $MTBF = 378h$
$MTTR = \frac{24 + 8 + 1 + 3 + 20 + 2}{6}$ $MTTR = 9,66h$	$MTTR = \frac{15 + 0,5}{2}$ $MTTR = 7,75h$
$DISP\% = \left(\frac{148,8}{148,8 + 9,66} \right) \cdot 100$ $DISP\% = 93,90\%$	$DISP\% = \left(\frac{378}{378 + 7,75} \right) \cdot 100$ $DISP\% = 97,99\%$
OBS: $\frac{156h}{mês} \div 26dias = 6h/dia$	

Fonte: O autor.

Como visto na Figura 35, os valores de MTBF, MTTR e disponibilidade, foram favoráveis para a empresa depois da aplicação do plano de manutenção preventiva. A seguir no Gráfico 4 é representada a comparação dos períodos e dos indicadores:

Gráfico 4 - Valores de MTBF e MTTR em horas dos períodos analisados



Fonte: O autor.

O Gráfico 4 acima indica que a implantação do plano de manutenção aumentou significativamente o MTBF, representados pela linha linear traçada e também é possível perceber a diminuição do tempo referente à MTTR. É importante ressaltar que, o tempo entre as falhas terem reduzido é uma boa situação para a empresa, mas o que mais fez com que a disponibilidade aumentasse foi diminuir o tempo de conserto dos equipamentos. Tendo isso em vista é possível afirmar que o plano de manutenção atendeu a expectativa da empresa e melhorou na questão da confiabilidade e das paradas da correia transportadora.

5 CONCLUSÃO

No final do projeto foi notada a grande diferença que um bom planejamento e análise de dados podem fazer em uma empresa, os rolamentos tiveram seu próprio plano de lubrificação e os equipamentos as inspeções periódicas adequadas. A empresa que não possuía nenhum tipo de manutenção preventiva, que consertava os equipamentos quando falhavam, experimentou a mudança através da preventiva e pode confirmar os resultados na prática por meio de indicadores que mostraram que os planos funcionaram da maneira adequada e a disponibilidade aumentou com o tempo. É importante ressaltar que de acordo com a seção 2.2, a preventiva se destaca como sendo o tipo de manutenção antecessora dos tempos atuais, a preferência é a utilização de outros métodos como os preditivos como na geração 3, tendo isso em mente é sempre bom inovar os conceitos de tecnologia de uma empresa, com os requisitos disponíveis e orçamento. Um dos fatos mais importantes a se constatar é que, por mais que a preventiva esteja sendo utilizada de maneira atrasada tanto na empresa quanto em seu tempo natural de evolução nas gerações, pode ser bem aproveitada para extrair bons resultados de confiabilidade e propiciar melhorias na produtividade.

REFERÊNCIAS

BELINELLI, Marjorie Maria. **Desenvolvimento de Método Para Seleção de Política de Lubrificação de Máquinas Centrada Em Confiabilidade: Aplicação na Indústria Alimentícia**. 2015. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

BLOCH, Heinz P. *Practical Lubrication for Industrial Facilities*. 2000. *Lilburn: The Fairmont Press, Inc.*, 2000.

BRAND, Gustavo Gastmann. **Método de Apoio à Formulação de Estratégia de Manutenção Em Ambiente Industrial: Um Estudo de Caso**. 2011. Dissertação Apresentada Para Obtenção do Título de Mestre Em Engenharia de Produção e Sistemas - Universidade do Vale do Rio Dos Sinos, São Leopoldo, 2011.

COELHO, Glauber Túlio Fonseca. **Engenharia Multidisciplinar**. 2020. Copyright da Editora Pascal. 2020

CONPREM. **Setor de manutenção**. Descritivos técnicos. Campanha, 2010. Base de Dados em Alto Araguaia.

CONPREM. **Setor de projetos**. Desenhos técnicos. Campanha, 2014. Base de Dados em Alto Araguaia.

LANSDOWN, A. R. *Lubrication and lubricant selection: a practical guide*. 3rd ed. London: *Professional Engineering Limited*, 2004. 285 p.

LUCATELLI, Marcos Vinícius. **Estudo de Procedimentos de Manutenção Preventiva de Equipamentos Eletromédicos**. 1998. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

MOBLEY, K. R. *Maintenance fundamentals*. 2nd ed. New York: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004. 418 p.

MOUBRAY, J. **RCM II: Manutenção centrada em confiabilidade**. Grã Bretanha: *Biddles Ltd., Guilford and King's Lynn*, 2000. Edição Brasileira.

NSK. **Catálogo Geral NSK: Lubrificação**. Disponível em <https://www.nsk.com.br/upload/file/flipbook/Catalogo_Geral NSK/Catalogo_Geral NSK/mobile/index.html#p=106>. Acesso em: 05 de Outubro de 2023.

NSK. **Parte b 4-29: Rolamentos fixos de esferas**. Disponível em <<https://www.nsk.com.br/upload/file/parte%20b%20%204-29.pdf>>. Acesso em: 04 de Março de 2024.

NSK. **Parte b 76-83: Rolamentos autocompensadores de esferas.** Disponível em <<https://www.nsk.com.br/upload/file/PARTE%20B%20%2076-83.pdf>>. Acesso em: 08 de Março de 2024.

NSK. **Vida nominal do rolamento.** Disponível em <https://nsk.com.br/uploads/BT_VIDA_UTIL_NOMINAL_DO_ROLAMENTO.pdf>. Acesso em: 10 de Março de 2024.

NUNES, Enon Laércio. **Manutenção centrada em confiabilidade (MCC): análise da implantação em uma sistemática de manutenção preventiva consolidada.** 2001. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

OLIVEIRA, Diogo Pinto. **Implementação de um plano de manutenção preventiva numa empresa de fundição.** 2013. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica - Universidade do Minho, 2013.

PAZETO, Ana Caroline. **Modelo de Priorização da Manutenção Corretiva Em Ambientes Hospitalares.** 2016. Dissertação apresentada por Ana Caroline Pazeto como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Biomédica - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

PEREIRA, Pedro Miguel de Sá. **Planos de Manutenção Preventiva Manutenção de Equipamentos Variáveis na BA Vidro, SA.** 2009. Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2009.

QUEIJO, João Pedro Pinto. **Lubrificação de Equipamentos: Plano de Manutenção Preventiva Numa Indústria de Mobiliário.** 2017. Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2017.

ROLMAX. **Rolamentos e mancais monoblocos autocompensadores.** Disponível em <<https://dbsrolamentoscombr.wordpress.com/wp-content/uploads/2021/03/catalogo-rolmax.pdf>>. Acesso em: 05 de Abril de 2024.

SKF. **Estimativa do intervalo de relubrificação para a graxa.** Disponível em <<https://www.skf.com/br/products/rolling-bearings/principles-of-rolling-bearing-selection/bearing-selection-process/lubrication/selecting-grease-or-oil>>. Acesso em: 05 de Outubro de 2023.

WEG. **Motor elétrico trifásico.** Disponível em <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hbf/h54/WEG-w22-motor-eletrico-trifasico-de-inducao-tecnico-mercado-africano-50058213-brochure-portuguese-web.pdf>>. Acesso em: 02 de março de 2024.

