

Manutenção centrada em confiabilidade: Implementação de uma melhoria realizada nos redutores de giro da lâmina de uma frota de motoniveladoras em uma mineradora contra quebras prematuras

Reliability-centered maintenance: Implementation of an improvement made to the blade rotation reducers of a fleet of motor graders at a mining company against premature breakdowns

Mantenimiento centrado en la confiabilidad: Implementación de una mejora realizada a los reductores de rotación de palas de una flota de motoniveladoras en una empresa minera contra averías prematuras

Recebido: 28/02/2024 | Revisado: 10/03/2024 | Aceitado: 12/03/2024 | Publicado: 15/03/2024

Marcus Dionatan Nascimento Bernardes da Costa

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4178-8295>

Instituto Federal de Minas Gerais, Brasil

E-mail: marcusdionatancosta37@gmail.com

Kívia Carolina Fonseca Campos Gomes

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8530-3259>

Instituto Federal de Minas Gerais, Brasil

E-mail: kiviacf@yahoo.com.br

Resumo

O presente trabalho objetivou implementar uma solução de engenharia para tratativa de falhas do componente redutor de giro da lâmina, com a minimização de custos e o aumento da confiabilidade de uma frota de motoniveladoras em uma mineradora de grande porte, localizada na região do Alto Paraopeba, em Minas Gerais. Para alcançar o objetivo proposto, foi aplicada a metodologia de pesquisa-ação, contando com a estreita participação do pesquisador. O processo de coleta de dados teve início em janeiro de 2022. Além da observação participante do autor principal, foram coletados dados históricos compreendidos entre o período de janeiro de 2018 à janeiro de 2022, referentes as quebras e aos custos de manutenção dos redutores de giro da lâmina. Após a implementação da melhoria no procedimento de pré-carga dos redutores de giro das lâminas das motoniveladoras, no ano de 2022, verificou que não houve nenhuma quebra precoce do componente até a conclusão da pesquisa, aumentando a disponibilidade e a confiabilidade dos equipamentos e reduzindo, significativamente, os custos de manutenção. Como resultados, pôde-se constatar que foi possível evitar a quebra de aproximadamente 25 redutores de giro e evitado o desembolso de R\$ 2.656.554,06, em média por ano. Pode-se afirmar que atingiu-se os objetivos propostos no artigo, uma vez que foi possível eliminar completamente as paradas inesperadas por quebras dos redutores de giro com a aplicação do novo procedimento de pré-carga elaborado.

Palavras-chave: Manutenção; Motoniveladoras; Redutores de giro da lâmina; Redução de custos; Confiabilidade.

Abstract

The present work aimed to implement an engineering solution to treat failures of the blade rotation reducing component, minimizing costs and increasing the reliability of a fleet of motor graders in a large mining company, located in the Alto Paraopeba region, in Minas Gerais. To achieve the proposed objective, the action research methodology was applied, with the close participation of the researcher. The data collection process began in January 2022. In addition to the main author's participant observation, historical data was found from January 2018 to January 2022, relating to breakdowns and maintenance costs of swing reducers of the blade. After implementing the improvement in the preload procedure for motor grader blade rotation reducers, in 2022, it was found that there was no early breakdown of the component until the research was completed, increasing the availability and reliability of the equipment and the significantly reducing maintenance costs. As a result, it was possible to avoid the breakdown of approximately 25 speed reducers and avoid the disbursement of R\$ 2.656.554,06, on average per year. It can be said that it achieved the objectives proposed in the article, since it was possible to completely eliminate unexpected stops due to breakage of the swing reducers with the application of the new preload procedure.

Keywords: Maintenance; Motor graders; Blade turning reducers; Cost reduction; Reliability.

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo implementar una solución de ingeniería para abordar fallas del componente de rotación de palas reduciendo, minimizando costos y aumentando la confiabilidad de una flota de motoniveladoras en una gran empresa minera, ubicada en la región de Alto Paraopeba, en Minas Gerais. Para lograr el objetivo propuesto se aplicó la metodología de investigación acción, contando con la estrecha participación del investigador. El proceso de recolección de datos se inició en enero de 2022. Además de la observación participante del autor principal, se recolectaron datos históricos desde enero de 2018 hasta enero de 2022, relacionados con averías y costos de mantenimiento de reductores de giro de la pala. Luego de implementar la mejora en el procedimiento de precarga de los reductores de rotación de palas de motoniveladoras, en 2022, se verificó que no hubo falla temprana del componente hasta finalizar la investigación, aumentando la disponibilidad y confiabilidad del equipo y significativamente reduciendo los costos de mantenimiento. Como resultado, se logró evitar la avería de aproximadamente 25 reductores de velocidad y se evitó el desembolso de R\$ 2.656.554,06, en promedio por año. Se puede afirmar que los objetivos propuestos en el artículo se lograron, ya que se logró eliminar por completo las paradas inesperadas por rotura de los reductores de giro con la aplicación del nuevo procedimiento de precarga desarrollado.

Palabras clave: Mantenimiento; Motoniveladoras; Reductores de giro de cuchillas; Reducción de costos; Fiabilidad.

1. Introdução

Conforme Wireman (2003), o elevado nível de competição existente no setor de mineração requer que as empresas enxerguem o setor de manutenção como uma atribuição estratégica para o crescimento da produtividade. De acordo com Palmer (2016), a realização de melhorias no que tange a manutenibilidade é imprescindível para garantir a eficiência e confiabilidade operacional desses ativos. Segundo Kardec e Nascif (2012), em prol de reduzir as falhas e paradas indesejáveis, as melhorias podem envolver a solução de um problema de Engenharia em componentes já existentes, aperfeiçoamento de sistemas de controle, atualização de *software*, entre outras ações que buscam aprimorar o desempenho dos equipamentos.

De acordo com a ABNT (1994), em sua norma NBR 5462, manutenção pode ser entendida como um conjunto de arranjos formado por métodos técnicos e administrativos, inclusive os de monitoramento, destinados a garantir ou recolocar um componente em seu estado normal de funcionamento. Segundo Viana (2002), a manutenção tem sua necessidade definida de acordo com estratégias que levam em consideração recomendações do fabricante, segurança do trabalho, meio ambiente, características do equipamento e o fator econômico, definindo assim a técnica a ser aplicada em determinada situação.

O foco da manutenção, de acordo com Xenos (2004), está em mitigar as falhas operacionais dos equipamentos, que impactam pontualmente no processo produtivo de uma organização. Com isso, segundo Campbell et al., 2015, são direcionados esforços para que não ocorram estas falhas, observando desde a aparência externa dos componentes, até situações internas que não são visíveis a olho nu. Neste contexto, conforme Moubrey (2001), embora sejam utilizadas ferramentas com diversos princípios, é praticamente impossível garantir que os equipamentos não falhem.

Conforme Kardec e Nascif (2012), os custos de manutenção em mineradoras podem representar uma parcela significativa dos custos totais de operação de uma mina. Isso ocorre porque as mineradoras geralmente utilizam equipamentos pesados e complexos, que demandam manutenção frequente e especializada para garantir o bom desempenho e a segurança das operações. De acordo com Higgins e Mobley (2002), além disso, existem as manutenções corretivas não planejadas, que mediante a uma quebra inesperada poderá ter como consequência a extensão dos danos, podendo implicar em altos custos, também inesperados. Dessa maneira, segundo Runge (1998), a redução de custos se tornou uma prioridade vital para muitas empresas, pois pode ajudá-las a aumentar sua lucratividade e garantir sua sobrevivência em um mercado cada vez mais competitivo, o que justifica a abordagem desse trabalho.

De acordo com Fogliatto e Ribeiro (2009), o setor de manutenção pode nortear-se através da metodologia Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), que se trata de uma abordagem estruturada, cujo intuito é detectar os problemas e falhas centrais que ocasionaram impactos ao desempenho dos equipamentos móveis. Sendo assim, segundo Mobley (1999), baseado nessa análise, é possível determinar e priorizar as atividades de manutenção que deverão ser

executadas de modo a diminuir a possibilidade de eventualidade desses problemas e falhas.

A realização deste trabalho tem por relevância e motivação a necessidade de aplicação de técnicas e soluções eficazes para a redução de quebras e custos de manutenção de motoniveladoras e, conseqüentemente, garantir o aumento da produtividade e competitividade de uma mineradora. Contextualizando no âmbito da empresa objeto desse estudo, em meados de 2015, um fornecedor realizou a entrega de uma frota composta por 6 motoniveladoras de grande porte para o setor de infraestrutura. Desde os primeiros meses de operação desses equipamentos, a Gerência de Manutenção de Equipamentos de Grande Porte (GMGP) vem vivenciando quebras prematuras dos redutores de giro da lâmina. Esses componentes são essenciais para o funcionamento adequado desses equipamentos.

Através da realização da pesquisa, propõe-se responder a seguinte questão: como implantar medidas para reduzir os impactos causados pelas quebras prematuras dos redutores de giro de uma frota de motoniveladoras de grande porte, otimizando o processo de manutenção? Para tanto, foi planejada a adoção de um método de reparação significativo, por meio da alteração do procedimento de pré-carga dos redutores de giro da lâmina. À vista disso, buscou-se validar a estratégia de manutenção preventiva para otimização das intervenções não programadas nas motoniveladoras, garantido o desempenho ideal e gerando impactos positivos nos indicadores de manutenção.

O presente trabalho objetivou implementar uma solução de engenharia para tratativa de falhas do componente redutor de giro da lâmina, com a minimização de custos e o aumento da confiabilidade de uma frota de motoniveladoras em uma mineradora de grande porte, localizada na região do Alto Paraopeba, em Minas Gerais.

2. Metodologia

Este estudo pode ser classificado com relação à natureza como uma pesquisa aplicada que, de acordo com Apolinário (2006), é fundamentalmente motivada diante a necessidade do pesquisador de resolver um problema já existente no ambiente de forma prática. No assunto em questão, o intuito é solucionar problemas presentes no processo de manutenção mecânica dos redutores de giro da lâmina de máquinas motoniveladoras.

Quanto aos objetivos, esta pesquisa pode ser caracterizada como exploratória, pois buscou-se explicar e explorar as causas e efeitos do problema identificado, além de realizar de forma experimental melhorias para reduzir o número de quebras dos redutores de giro da lâmina em uma frota de motoniveladoras e aumentar a confiabilidade desses equipamentos.

O artigo, possui abordagem qualitativa, uma vez que o pesquisador procurou entender os fenômenos de maneira aprofundada através da observação, interpretação e descrição do problema dentro do ambiente estudado (Mello *et al.*, 2012).

O presente artigo é caracterizado pelo método de pesquisa ação, uma vez que teve como propósito a implementação de uma solução de um problema nos redutores de giro da lâmina, com a estreita participação do pesquisador. Segundo Severino (2013), nesse método é imprescindível a elaboração de um plano de ação que possa solucionar a situação de pesquisa, possibilitando que os envolvidos adquiram conhecimento durante a aplicação da melhoria.

De acordo com Thiollent (1997), a pesquisa ação contempla um ciclo de melhoria composto por fases que possibilitam a identificação de problemas baseadas em uma investigação previamente estabelecida, seja nos equipamentos ou no processo produtivo, visando propor e aplicar melhorias em circunstâncias do cotidiano. Destaca-se que a maioria das situações dos processos de melhoria seguem o mesmo fluxo, como detalhado na sequência e que pode ser visto na Figura 1.

Dessa maneira, após definir o problema, o delineamento da pesquisa inicia-se pelo planejamento através da definição dos objetivos e técnicas de coleta de dados. Em seguida busca-se coletar os dados referentes ao problema de estudo que serão, posteriormente, analisados em prol de se propor ações de melhorias. Feito isso, as ações são implementadas e, por último, os resultados são monitorados e avaliados como forma de discutir a efetividade e possível padronização das soluções propostas.

Figura 1 - Ciclo para a execução da pesquisa ação.



Fonte: Adaptado de Mello et al. (2012), p. 05.

A escolha da frota de motoniveladoras para a pesquisa foi motivada por questões de acessibilidade, visto que o autor principal do estudo em questão faz parte do quadro de funcionários da mineradora, sendo este responsável por manter os equipamentos supracitados funcionais para o setor de operação e infraestrutura de mina, com o intuito de propiciar todo o auxílio necessário para a atividade primária da empresa, a extração de minério de ferro ou estéril.

Durante o processo de implantação da melhoria foi necessário realizar testes para definir a medida ideal de calços para a realização do procedimento de pré-carga dos redutores de giro da lâmina, através do método por tentativa e erro. De acordo com Bloch e Geitner (2019), em manutenção mecânica, os calços são elementos utilizados para ajustar a folga entre duas peças e possuem formas variadas para se adequarem às necessidades específicas de cada aplicação. Os calços são frequentemente utilizados nos equipamentos para garantir um funcionamento adequado, reduzir o desgaste prematuro das peças e evitar danos causados por vibrações ou movimentos inadequados. Eles são essenciais para garantir a precisão e a eficiência dos equipamentos mecânicos durante sua operação. Segundo Aguiar (2011), o método por tentativa e erro, trata-se de um processo dinâmico onde os envolvidos praticam diferentes ações por experimentação para a correção de erros em um determinado item, com o objetivo de alcançar o resultado desejado, mas caso o resultado obtido não seja satisfatório os responsáveis pelas alterações continuam realizando ajustes até encontrar a solução desejável.

3. Resultados e Discussão

Os resultados foram estruturados a partir das etapas explicitadas anteriormente na Figura 1, onde será apresentado o desenvolvimento para aplicação do processo metodológico da pesquisa-ação.

3.1 Planejamento da pesquisa e caracterização do problema

A pesquisa-ação foi realizada em uma mineradora de grande porte que tem como principal atividade a extração de minério de ferro em uma mina a céu aberto. Trata-se da segunda maior exportadora de minério de ferro do Brasil, possuindo em média uma capacidade produtiva anual de 33 milhões de toneladas e reservas certificadas em mais de 3 bilhões de toneladas desse ativo. A mina está localizada na superfície do quadrilátero ferrífero, na região do Alto Paraopeba, em Minas Gerais. A

empresa possui nessa região uma frota composta por 6 motoniveladoras de grande porte.

No que tange as atividades das motoniveladoras, foi identificada uma falha em um dos componentes imprescindíveis para o cumprimento de suas funções na manutenção das vias. Desde os primeiros meses de operação, em meados de 2015, quando a frota de motoniveladoras (Figura 2) foi entregue para a mineradora pelo fabricante, as mesmas apresentaram quebras dos redutores de giro, provenientes de uma sucessão de impactos sofridos pela lâmina quando entra em contato com materiais rochosos de alta dureza que se encontram encobertos pelo solo da via, durante a operação.

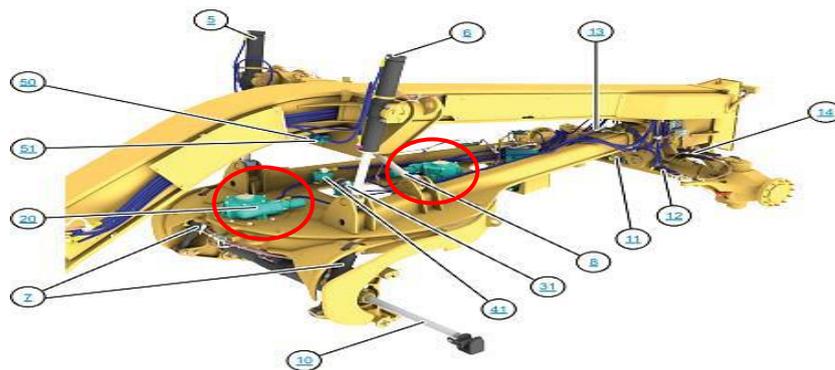
Figura 2 - Motoniveladora de grande porte.



Fonte: Sistema de Informações de Serviço Caterpillar (2023).

De acordo com Silva et al. (2022), as motoniveladoras (Figura 2) tratam-se de equipamentos automotores compostos por pneus, e possuem uma lâmina integrada capaz de realizar múltiplos movimentos, responsável pelo acabamento e qualidade das vias de acesso, onde os demais equipamentos de produção transitam. Já os redutores de giro lâmina, segundo Paulo (2019), são dispositivos mecânicos formados por um conjunto de engrenagens que possibilitam a diminuição de velocidade e transferência de energia mecânica ao círculo da lâmina. A Figura 3, mostra a localização do componente alvo do estudo, que está demarcado pelo círculo vermelho.

Figura 3 - Localização do redutor de giro da lâmina no equipamento.



Fonte: Sistema de Informações de Serviço Caterpillar (2023).

Haja vista a necessidade de resolver o problema, a equipe de manutenção das motoniveladoras, constituída por mecânicos e técnicos, incluindo o autor principal da pesquisa, se reuniram para conduzirem a pesquisa de modo cooperativo, em prol de propor uma melhoria capaz de solucionar ou mitigar os modos de falhas referentes às quebras dos redutores de giro.

3.2 Coteia de dados

O processo de coleta de dados teve início em janeiro de 2022. Dessa maneira, para favorecer a validação da pesquisa, além da observação participante do autor principal, foram coletados dados históricos compreendidos entre janeiro de 2018 à janeiro de 2022, pertinentes às quebras dos redutores de giro das lâminas e aos custos de manutenção anuais empregados em cada um dos períodos analisados para realizar a substituição dos redutores de giro danificados, seja através da aquisição de novos ou àqueles já remanufaturados. Os dados foram coletados através de planilhas, armazenadas no banco de dados da mineradora, conforme pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 - Quebra e custo anual referentes aos redutores de giro da lâmina.

Ano	Quebra anual	Custo anual
jan/18 a jan/19	21	R\$ 2.227.605,22
jan/19 a jan/20	26	R\$ 2.851.703,15
jan/20 a jan/21	24	R\$ 2.520.281,74
jan/21 a jan/22	28	R\$ 3.026.281,14
Total	99	R\$ 10.626.216,25
Média anual	24,75	R\$ 2.656.554,06

Fonte: Banco de dados da mineradora.

3.3 Análise de dados

Analisando as informações obtidas na Tabela 1, que antecede a implantação da melhoria, é possível identificar que as quebras totais e os custos totais empregados na manutenção para a substituição dos redutores de giro da lâmina das motoniveladoras são expressivos. Pôde-se observar que o período de janeiro de 2019 a janeiro de 2020 e o período de janeiro de 2021 a janeiro de 2022, apresentaram os maiores números de quebras de redutores de giro da lâmina. Vale ressaltar que os dados levantados no quadriênio analisado registrou um total de 99 quebras, e na média tem-se 24,75 quebras. Por fim, em relação aos quatro anos analisados, registrou-se um custo total de R\$ 10.626.216,25, e na média tem-se o custo de R\$ 2.656.554,06.

3.4 Planejamento das ações para resolução do problema

Perante as informações de ocorrências de quebras e ao custo de manutenção para substituição dos redutores de giro das motoniveladoras, conforme apresentado na análise de dados da Tabela 1, julga necessário encontrar soluções para essa problemática, que possam contribuir positivamente para redução dos impactos financeiros causados á empresa.

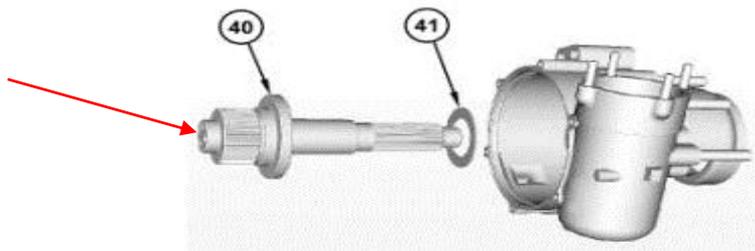
Após o período de investigação e ao concluir a análise de dados, a equipe de trabalho sugeriu, como proposta de melhoria, a alteração do procedimento de pré-carga dos redutores de giro da lâmina, visto que, o método fornecido pelo fabricante dos equipamentos não estava sendo eficaz. O procedimento de pré-carga será abordado no tópico 4.4.1.

Para tanto, o pesquisador juntamente com sua equipe utilizou o método por tentativa e erro para realizar testes e encontrar a medida ideal de calços capaz de garantir o correto desarme do redutor de giro da lâmina, quando o mesmo sofrer algum impacto excessivo, inibindo a quebra. Com base em conhecimentos teóricos e práticos, a equipe de trabalho, chegou a conclusão que através da introdução de mais calços no componente mencionado, seria possível ajustar a proximidade dos elementos internos, reduzindo as folgas excessivas e alcançando uma medida considerada ideal. O ajuste adequado do redutor de giro da lâmina é crucial para evitar quebras prematuras e catastróficas.

3.4.1 Procedimento de pré-carga

Analisando a Figura 4, a pré-carga consiste em um processo de adicionar compressão axial ao eixo principal (40) do redutor de giro utilizando-se calços, com o objetivo de reduzir ou eliminar as folgas existentes entre os demais elementos presentes no mesmo. A Figura 4 demonstra o eixo pivô e o local onde realiza-se a pré-carga, indicado por uma seta vermelha.

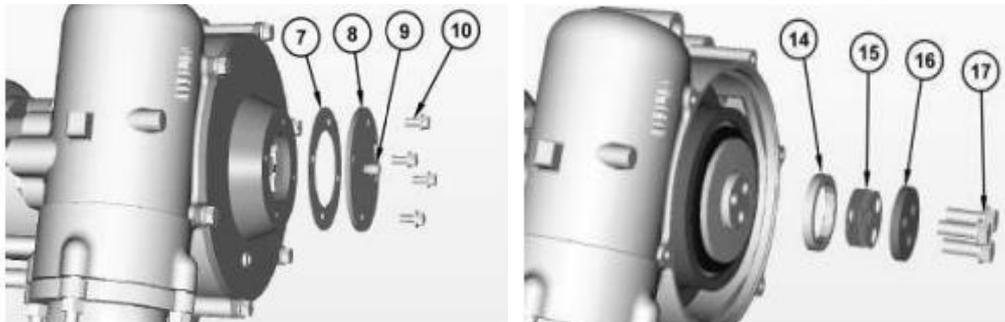
Figura 4 - Local onde realiza-se a pré-carga no eixo principal de um redutor de giro.



Fonte: Sistema de Informações de Serviço Caterpillar (2023).

Para realizar o procedimento de pré-carga é necessário remover algumas peças do redutor de giro, de acordo com a Figura 5.

Figura 5 - Sequência para realização de pré-carga em um redutor de giro.



Fonte: Sistema de Informações de Serviço Caterpillar (2023).

Primeiramente, remove-se os parafusos (10), a tampa (8) e a junta (7). Logo após, retira-se os parafusos (17) e a placa (16). Vale ressaltar que o espaçador (14) deve ser mantido em torno do eixo, uma vez que o mesmo é responsável por assegurar que os calços que serão instalados sobre o eixo ficarão no local correto. Ao realizar tais passos, com o auxílio de um paquímetro, mede-se a quantidade de calços (15) prescrita no procedimento alterado pelo autor principal e os adiciona na parte superior do eixo principal. Por fim, para realizar a montagem, realiza-se o processo inverso de desmontagem, lembrando que é imprescindível apertar os parafusos (17) utilizando um torquímetro com um torque de 240 ± 40 N.m (Newton metro), pois isso garantirá a correta fixação dos mesmos. A Figura 6 mostra na prática a realização do procedimento de pré-carga realizado pelo autor do artigo.

Figura 6 - Realização do procedimento de pré-carga em um redutor de giro.



Fonte: Autoria própria.

3.5 Implementação da melhoria

Transcorridas as etapas anteriores, o autor principal, juntamente com a sua equipe de trabalho colocaram em prática o método por tentativa e erro, ainda em janeiro de 2022. Após a realização de alguns testes, conforme Tabela 2, foi possível encontrar a medida ideal para a realização de pré-carga nos redutores de giro da lâmina, criando-se assim um procedimento interno restrito às máquinas da mineradora, denominado “Procedimento Infra”, fazendo alusão aos equipamentos de infraestrutura de mina, em particular, às motoniveladoras.

Tabela 2 - Método por tentativa e erro para encontrar a medida ideal para realização de pré-carga.

Testes	Medidas (mm)
1	3,9
2	4,0
3	4,1
4	4,2
5	4,3
6	4,4
7	4,5
8	4,6
9	4,7
10	4,8
11	4,9

Fonte: Autoria própria.

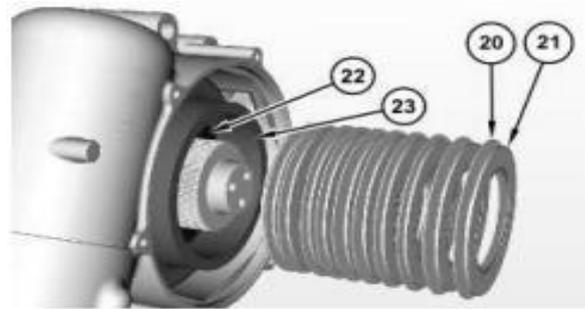
Vale ressaltar que o procedimento fornecido pelo fabricante solicitava em média 3,8 mm de calços para a realização de pré-carga e essa medida era frequentemente utilizada antes da implementação da melhoria. Na Tabela 2, pôde ser observado que foi necessária a realização de 11 testes e que a medida ideal de calços encontrada para a realização desse procedimento foi de 4,9 mm, para o correto desarme do redutor de giro da lâmina.

Para determinar o melhor valor, os envolvidos na melhoria partiram do valor inicial de 3,9 mm, acrescentando a cada tentativa 0,1 mm. A motoniveladora utilizada durante a realização dos testes encontrava-se em uma área da mina onde havia presença de materiais rochosos. Foi solicitado ao operador que desempenhasse suas atividades com a motoniveladora conforme a rotina, em prol de verificar se a medida de calço instalada permitiria o correto desarme do redutor de giro.

O desarme trata-se de uma função de segurança atribuída aos redutores de giro, e acontece quando a lâmina do

equipamento sofre, de maneira inesperada, um impacto brusco de algum material rochoso de alta dureza durante a realização das suas atividades de regulamentação das vias de trânsito dos equipamentos de produção. Isso faz com que, conforme Figura 7, as placas (20) e os discos (21) contidos no interior do redutor de giro se friccionem de modo que a lâmina mude de direção em um curto espaço de tempo para se livrar do obstáculo, evitando a quebra do redutor de giro.

Figura 7 - Placas e discos de um redutor de giro da lâmina.



Fonte: Sistema de Informações de Serviço Caterpillar (2023).

Em fevereiro de 2022, após constatar que a medida encontrada foi satisfatória, o procedimento de pré-carga foi replicado para as demais motoniveladoras de grande porte da área, que somadas com a utilizada nos testes, totalizou 6 equipamentos. Os redutores de giro das lâminas das motoniveladoras ainda não apresentavam desgaste, sendo assim, a medida de 4,9 mm de calços foi aplicada em todos os equipamentos.

3.6 Monitoramento e avaliação dos resultados

Transcorridos dois anos após a implementação da melhoria, completados em fevereiro de 2024, pode-se afirmar que os resultados obtidos com a melhoria foram eficientes e eficazes, uma vez que não houve mais nenhuma quebra prematura dos redutores de giro, garantindo-se maior confiabilidade e disponibilidade das motoniveladoras, bem como a redução de custos de manutenção voltados para esse componente, evitando perdas financeiras.

Para comprovar a efetividade da melhoria, foi realizado o cálculo da média em relação ao número de quebras e custos de manutenção gerados para substituição dos redutores de giro da lâmina, no período de janeiro de 2018 à janeiro de 2022. Dessa maneira, a média anual obtida foi comparada com cada um dos anos após a implementação da melhoria, que consiste do período de fevereiro de 2022 à fevereiro de 2024. Visto que o referido período não apresentou quebras e custos inesperados, pôde-se constatar que foi possível evitar a quebra de aproximadamente 25 redutores de giro e evitando o gasto de R\$ 2.656.554,06, em média por ano, conforme calculado na Tabela 1.

Em suma, após a implementação da melhoria bem sucedida, foi possível cumprir o orçamento planejado, sem estrapolar os custos de manutenção. As substituições de redutores de giro foram feitas apenas em manutenções preventivas, reduzindo significativamente os elevados números de manutenções corretivas provenientes das quebras dos redutores de giro.

4. Considerações Finais

O trabalho em questão teve como principal objetivo implementar uma melhoria aplicando a metodologia Manutenção Centrada em Confiabilidade em prol de reduzir os custos de manutenção atrelados às quebras dos redutores de giro da lâmina de uma frota de motoniveladoras, assim como as paradas em manutenção corretiva não planejada. Os equipamentos supracitados

são utilizados para manutenção das vias nas áreas da mina da empresa onde a pesquisa-ação foi realizada.

Através da melhoria, foi possível aumentar a confiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos de maneira significativa, assim como a eficácia do processo produtivo, uma vez que não foram constatadas quebras no período analisado, 2 anos após a implementação da melhoria. Pode-se afirmar que atingiu-se os objetivos do trabalho, uma vez que eliminou-se completamente as paradas inesperadas por quebras dos redutores de giro mediante a aplicação do novo procedimento de pré-carga elaborado.

Após a condução da pesquisa, destaca-se que é recomendável seguir estritamente o manual do fabricante. No entanto, surgem situações, como a enfrentada nas motoniveladoras, em que foi necessário alterar um procedimento específico para resolver um problema particular.

O desenvolvimento deste trabalho, evidencia a importância da melhoria contínua no âmbito da manutenção e áreas afins, uma vez que mesmo sendo aparentemente simples, as melhorias podem proporcionar ganhos consideráveis para as empresas. Por isso, sempre que possível, as empresas devem engajar os colaboradores para que os mesmos possam implementar melhorias nas áreas de manutenção de equipamentos, em prol de buscarem maior produtividade e se manterem competitivas no mercado global.

Uma dificuldade encontrada no decorrer da realização do artigo é o fato de não existir trabalhos para dar suporte ao pesquisador, uma vez que a melhoria realizada trata-se de algo completamente novo na literatura.

Por fim, vale ressaltar que até a conclusão da pesquisa em fevereiro de 2024, não foram registradas quebras nos redutores de giro da lâmina. No entanto, como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se ampliar a coleta de dados para o período posterior à melhoria, a fim de verificar sua eficácia ao longo do tempo.

Referências

- ABNT NBR 5462. (1994). Confiabilidade e manutenibilidade. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- Aguiar, T. R. X. (2011). Tentativa e Erro: O que isto pode nos ensinar sobre o Conhecimento Científico?. *Cognitivo: Revista de Filosofia*, 12(1), 11-19.
- Apolinário, F. (2006). *Metodologia da Ciência*. Ed. Thomson.
- Bloch, H. P., & Geitner, F. K. (2019). *Machinery Component Maintenance and Repair*. Elsevier Science & Technology.
- Campbell, J. D., Reyes-Picknell, J. V., & Kim, H. S. (2015). *Uptime: Strategies for excellence in maintenance management*. CRC Press.
- Caterpillar. *Service Information System*. <https://sis2.cat.com>
- Fogliatto, F.S., & Ribeiro, J. L. D. (2009). *Confiabilidade e manutenção industrial*. Elsevier Brasil: ABEPRO.
- Higgins, L. R., & Mobley, R. K. (2002). *Maintenance engineering handbook* (No. 20111). McGraw-hill.
- Kardec, A., & Nascif, J. (2012). *Manutenção: função estratégica*. Qualitymark Editora Ltda.
- Mello, C. H. P., Turrioni, J. B., Xavier, A. F., & Campos, D. F. (2012). Pesquisa-ação na engenharia de produção: proposta de estruturação para sua condução. *Production*, 22 (1), 1-13.
- Mobley, R. K. (1999). *Total Plant Performance Management: A Profit-Building Plan to Promote, Implement, and Maintain Optimum Performance Throughout Your Plant*. Gulf Professional Publishing.
- Moubray, J. (2001). *Reliability-centered maintenance*. Industrial Press Inc..
- Palmer, R. (2016). Manual de planejamento e programação de manutenção. *Diário de gerenciamento e manutenção de ativos*, 29 (3), 57-59.
- Runge, I. C. (1998). *Mining economics and strategy*. SME.
- Severino, A. J. (2017). *Metodologia do trabalho científico*. Cortez editora.
- Silva, J. G. G., Paiva, E. M., Leite, J. F., Franco, L. J. V., & da Souza, E.S. (2022). Manutenção mecânica em motoniveladoras: Um estudo de caso para elevar a disponibilidade física da frota de motoniveladora. *Gestão da Manutenção Industrial e Mineração Volume*, 34.
- Thiollent, M. (1997). *Pesquisa-ação nas organizações*. Atlas.

Viana, H. R. G. (2002). *PCM-Planejamento e Controle da manutenção*. Qualitymark Editora Ltda.

Wireman, T. (2003). *Maintenance management and regulatory compliance strategies*. Industrial Press Inc..

Xenos, H. G. (2004). *Gerenciando a manutenção produtiva*. Editora de Desenvolvimento Gerencial.