Unisanta Science and Technology, **2024, 1, November**
Published Online 2024 Vol.13 Nº2 http://periodicos.unisanta.br/index.php/sat)

UNISANTA
Science and Technology
ISSN 2317-1316

Análise de confiabilidade voltada ao principal modo de falha de uma frota de caminhões fora de estrada 793D Caterpillar

Alexandrina Divina Santos Soares, José Marcelino Andrade Barros Júnior e Willy Ank de Morais [1]

UNISANTA [1] – Universidade Santa Cecília – Pós-Graduação em Engenharia da Confiabilidade
Rua Oswaldo Cruz, 266 - Santos-SP, Brasil - CEP: 11045-100

E-mail*:* alexandrinasoares07@hotmail.com
Received November, 2024

Resumo: Este artigo apresenta uma análise de confiabilidade focada no modo de falha primário da frota de caminhões fora de estrada Caterpillar 793D, com foco na redução da probabilidade de falhas, uma vez que estas acarretam custos associados. A eficácia das atividades de manutenção corretiva é avaliada pela disponibilidade dos equipamentos. Neste contexto, o estudo utilizou técnicas de análise de falhas aplicada ao sistema elétrico dos caminhões, para identificar os mecanismos prioritários que mais afetavam a disponibilidade operacional da frota. Neste aspecto foram empregados conceitos essenciais de manutenção corretiva e preventiva, indicadores de manutenção (*MTBF*, *MTTR*, disponibilidade física, taxa de falhas) e ferramentas como o diagrama de Pareto, Análise de Modos e Efeitos de Falha (*FMEA*) e o ciclo *PDCA* como metodologia de gestão e melhoria contínua. O estudo fornece uma visão abrangente da importância da manutenção, destacando ferramentas e métodos para identificar, analisar e corrigir falhas em sistemas e equipamentos industriais.

Palavras-chave: Ferramentas de Confiabilidade; Análise de Risco; Corrosão; Lubrificação; Mecânica da Fratura e *Power BI*.

Reliability analysis focused on the primary failure mode of a fleet of Caterpillar 793D off-highway trucks

Abstract: This article presents a reliability analysis focused on the primary failure mode of the Caterpillar 793D off-highway truck fleet, focusing on reducing the probability of failures since these entail associated costs. The availability of the equipment assesses the effectiveness of corrective maintenance activities. In this context, the study used failure analysis techniques applied to the electrical system of the trucks to identify the priority mechanisms that most affected the operational availability of the fleet. In this aspect, essential concepts of corrective and preventive maintenance, maintenance indicators (MTBF, MTTR, physical availability, failure rate), and tools such as the Pareto diagram, Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), and the PDCA cycle as a management and continuous improvement methodology were used. The study provides a comprehensive view of the importance of maintenance, highlighting tools and methods to identify, analyze, and correct failures in industrial systems and equipment.

Keywords: Reliability Tools; Risk Analysis; Corrosion, Lubrication; Fracture Mechanics and Power BI.

1. INTRODUÇÃO

Com a economia globalizada, observou-se um aumento na demanda por produtos e sistemas de melhor desempenho a custos competitivos. Concomitantemente, surgiu a necessidade de redução na probabilidade de falhas em produtos e serviços, já que as falhas aumentam os custos associados [1, 2].

As atividades de manutenção existem para evitar a degradação dos equipamentos e instalações, causada pelo seu desgaste natural e pelo uso, é definida como a

Copyright © 2024 ISESC.

combinação de ações técnicas e administrativas, destinadas a manter ou retornar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida [3-5].

As ações de manutenção podem ser divididas em duas classes: ações corretivas e ações preventivas. A manutenção corretiva ocorre após a falha do equipamento; o objetivo é trazê-lo de volta ao estado operante no menor tempo possível. A manutenção preventiva ocorre antes da falha do equipamento [6-8].

A eficiência das ações de manutenção corretiva é medida através da disponibilidade do equipamento. A disponibilidade é dada pela probabilidade de o equipamento estar operante quando necessitado. Em contrapartida, a eficiência das ações de manutenção preventiva é avaliada pelo incremento resultante na confiabilidade do equipamento para o qual foi projetado [9].

Dentro deste contexto, o presente trabalho aborda a análise de confiabilidade voltada ao principal modo de falha da frota de caminhões fora de estrada 793D, priorizando aquelas identificadas pelo método de Pareto como as mais impactantes na disponibilidade física da frota.

2. DESENVOLVIMENTO

Manutenção corretiva é o tipo de manutenção realizada para recuperar as características originais de máquinas e equipamentos que apresentam falhas e danos que comprometem a eficiência de um processo [3]. Normalmente manutenção corretiva envolve maiores tempos de reparo (pois a atividade não foi planejada) e maiores custos associados a horas mobilizadas, parada de linha, perdas de produção e perda da qualidade [9].

Pode-se dizer que: Manutenção Corretiva é aquela realizada para corrigir e eliminar a causa da falha. A falha potencial ocorre ainda em estágio inicial, que denuncia que há algo de errado, mesmo que o equipamento ainda esteja desempenhando a sua função no processo de produção. A falha funcional é quando o equipamento não é mais capaz de desempenhar sua função no processo produtivo [6-9].

A manutenção corretiva, divide-se em duas modalidades: planejada e não planejada. A diferença entre os dois tipos é basicamente se a manutenção é executada após a falha potencial ou após a falha funcional. Segundo Teles [8] a manutenção corretiva emergencial é chamada de não programada, pelo fato de ter pulado as etapas de planejamento e programação. O equipamento é quem decidiu o momento em que a manutenção aconteceria e este deve ser reparado em caráter de urgência por conta do lucro cessante, momento em que a empresa deixou de "lucrar" por conta da parada do equipamento [6, 7].

A Manutenção Corretiva Programada é aquela realizada para eliminar a falha potencial antes que ela evolua para a falha funcional. Se a falha potencial não trouxer risco à segurança ou problemas de qualidade, ela pode ser programada para ser eliminada quando for mais conveniente para empresa. Seja por questões de produção, custo, disponibilidade de materiais ou mão de obra [8, 9].

2.1. Indicadores de Manutenção: *MTBF* e *MTRR*

O *MTBF* (*Mean Time Between Failures*) ou tempo médio entre falhas é definido pela soma das horas de operação divido pelo número de intervenções corretivas [9]. O *MTBF* pode ser considerado como um dos indicadores mais importantes para o setor de manutenção, pois através dele é possível calcular vários outros indicadores de disponibilidade e confiabilidade. A forma mais eficiente de administrar esse indicador é aplicá-lo a cada equipamento, dessa forma, as ações podem ser aplicadas de forma individual, facilitando as ações [8]. O cálculo do *MTBF* é realizado de acordo com:

$$MTBF = \frac{Tempo\ total\ da\ máquina\ operando}{Numero\ de\ interveções\ corretivas} \quad (1)$$

O tempo médio para reparo, *MTTR* (*Mean Time To Repair*) é outro indicador, neste caso usado principalmente para analisar a eficiência dos trabalhos das equipes de manutenção corretiva. A sua definição permite quantificar o tempo necessário para as equipes de manutenção solucionarem problemas corriqueiros e repetitivos, assim auxiliando na definição da causa raiz do problema e assim, traçar uma estratégia para solução.:

$$MTTR = \frac{Tempo\ total\ das\ intervenções\ corretivas}{Número\ de\ inetrvenções\ corretivas} \quad (2)$$

O número do *MTTR* também compõe a equação para cálculo da disponibilidade, sendo um indicador importante para as empresas. Ao contrário do *MTBF*, esse indicador pode ser usado de forma global ou associado por setor ou área, e em intervalos de curto prazo [8].

2.2. Indicadores de Manutenção: DF e λ

A disponibilidade é um resultado de desempenho. Segundo a NBR 5462 [3], o termo "disponibilidade" é definido como:

> "Capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, mantenabilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados."

A disponibilidade é um dos seus principais indicadores da Engenharia da Confiabilidade para uso em programas de manutenção. Neste contexto, define-se Disponibilidade Física, *%DF*, como sendo a porcentagem de tempo durante o qual um equipamento está apto para uso operacional em relação ao tempo gasto em paradas imprevistas, falhas e incidentes [8]. O seu cálculo é feito

Copyright © 2024 ISESC

empregando-se os indicadores *MTBF* e *MTTR*, que são combinados através da seguinte equação:

$$\%DF = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \times 100(\%) \quad (3)$$

A taxa de falha, λ, é um indicador utilizado para medir a confiabilidade de um sistema ou componente. Ela representa a probabilidade deste falhar em um determinado período. Também é um indicador empregado para identificar as condições que o equipamento está em relação na Curva da Banheira, ou seja, para identificar a sua característica de vida útil em 'infância', 'maturidade' ou 'obsolescência' [4, 6, 8]. A taxa de falhas pode ser definida como sendo o inverso do tempo médio entre falhas, para equipamentos que possuem taxas de falha constantes:

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad (4)$$

2.3. Metodologia Diagrama de Pareto e PDCA

O Diagrama de Pareto é uma metodologia usada para quantificar e conflitar as causas de um evento com o seu determinado efeito. A análise refere-se à regra 80/20, descoberta por Vilfredo Pareto, economista italiano do século XIX, que resultou de um estudo efetuado dos padrões de rendimento e riqueza da Inglaterra. Pareto observou que 80% da riqueza estava concentrada em apenas 20% da população, e constatou que essa proporção se repetia com precisão matemática aos dados disponíveis de diferentes países, e em diferentes períodos [10].

O diagrama de Pareto é um gráfico de barras que classifica e ordena os dados por frequência de ocorrência. Esta ferramenta é importante na medida em que indica as ações prioritárias. Na manutenção, usa-se para conflitar as causas de falhas com o número de paradas de um equipamento. Ou seja, é possível delinear graficamente quais são as causas que mais impactam na disponibilidade e confiabilidade do equipamento empregando-se esta ferramenta [4, 10].

O ciclo *PDCA* (*Plan, Do, Check, Act,* ou planejar, fazer, verificar e ação) é uma metodologia de gestão e melhoria contínua, criado na década de 20 por Walter A. Shewhart e popularizado por William Edward Deming [10]. O método dividido em quatro etapas: *Plan* (planejar), *Do* (fazer), *Check* (verificar) e Act (ação ou ajuste), conforme ilustrado genericamente na Figura 1.

O ciclo *PDCA* é repetido até se alcançar o padrão de qualidade ou resultados desejados, permitindo integrar as etapas de modo relativamente simples, que se intercomunicam e se retroalimentam [4, 11]. As maiores vantagens do *PDCA* são: poder ser utilizado em qualquer instância da empresa, produzir melhorias consistentes nos processos e atividades em geral; integrar as etapas produtivas, tornando-as responsáveis pela qualidade do processo [11, 12].

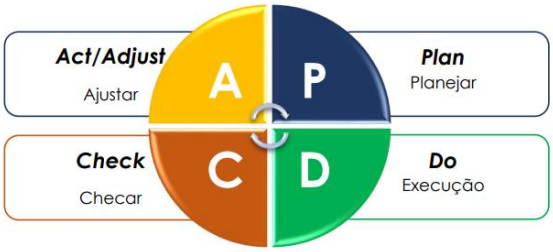

Figura 1. Ilustração genérica de um ciclo *PDCA*.

3. ANÁLISE

A confiabilidade é um essencial na gestão de frotas de equipamentos pesados, já que falhas inesperadas podem levar a paradas não programadas, comprometendo a produtividade e aumentando os custos operacionais. Neste contexto, foi realizada uma análise de Pareto em uma frota de caminhões CAT modelo 793D [13] para identificar os principais modos de falha e seus sistemas contribuintes. O resultado desta análise revelou que o sistema elétrico é o principal ofensor, respondendo pela maior parte das ocorrências de falhas neste equipamento.

As falhas no sistema elétrico resultam em paradas não planejadas dos caminhões, impactando negativamente os indicadores de disponibilidade física e utilização da frota. Além disso, aumentam os custos com manutenção corretiva e peças de reposição. Os problemas levantados no sistema elétrico nos caminhões CAT 793D [13] avaliados podem ter diversas causas, tais como:

- Falhas em componentes (sensores, chicotes, conectores etc.);
- Problemas de projeto ou montagem;
- Desgaste prematuro devido às condições severas de operação;
- Manutenção inadequada ou insuficiente.

Diante desta problemática, o presente trabalho apresenta uma análise mais profunda das causas raízes das falhas elétricas nos caminhões avaliados, bem como propor soluções práticas para aumentar a confiabilidade do sistema elétrico e, consequentemente, da frota como um todo.

3.1. Perfil de perdas da frota

A análise do perfil de perdas da frota de caminhões CAT 793D foi conduzida com base nos dados coletados entre fevereiro e junho de 2023. Pelo gráfico de Pareto obtido, reproduzido na Figura 2, identificou-se que o sistema elétrico é o principal contribuinte para as paradas não programadas, impactando significativamente o *MTBF* e a confiabilidade geral da frota. Já o gráfico da Figura 3 apresenta a distribuição das paradas relacionadas ao sistema elétrico ao longo dos 5 meses analisados.

Copyright © 2024 ISESC



Figura 2. Análise de Pareto relacionando o número de ocorrências x Horas paradas da frota de caminhões sob análise.

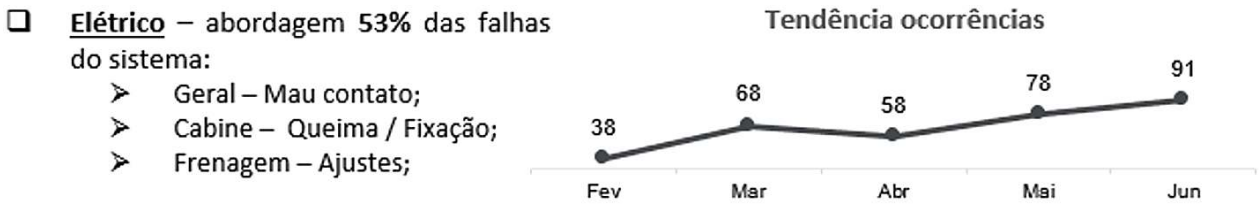

Figura 3. Gráfico tendência de falhas no sistema elétrico 2023 da frota de caminhões sob análise.

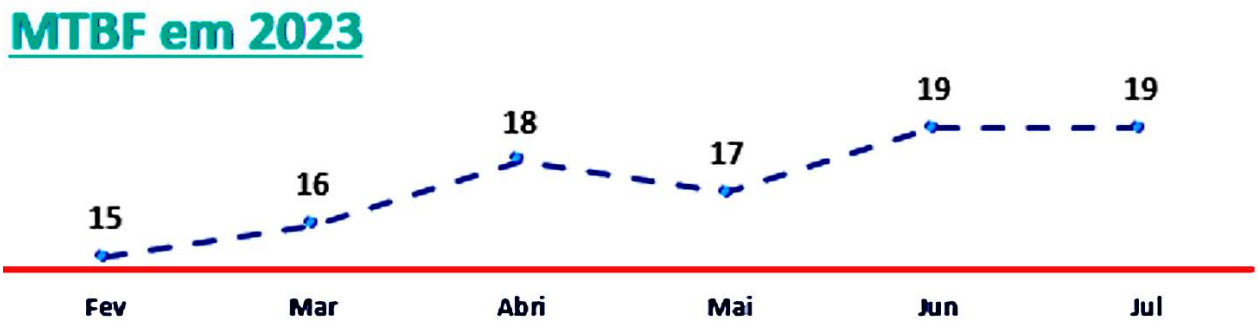

Figura 4. Gráfico do *MTBF* da frota de caminhões sob análise.

Os dados apresentados no gráfico da Fig. 3 ilustram uma tendência de alta nas ocorrências de paradas pelo sistema elétrico no período considerado, de fevereiro a junho de 2023. Inclusive, o mês final (junho) foi o que apresentou o maior número de falhas neste sistema da frota de caminhões, totalizando 91 eventos.

Outro indicador crítico analisado foi o *MTBF*, que apresentou uma média de 17 horas no período de 5 meses, significativamente abaixo da meta estabelecida pela mineradora operadora da frota, que é de 28 horas. O gráfico da Figura 4 ilustra a evolução do *MTBF* ao longo dos meses analisados. O baixo *MTBF* indica que a frota está experimentando paradas com uma frequência maior do que o desejado, impactando negativamente a disponibilidade e a utilização dos equipamentos. As falhas no sistema elétrico, por serem as mais recorrentes, têm uma contribuição significativa para este cenário.

Diante destes dados, fica evidente a necessidade de uma análise mais aprofundada das causas raízes das falhas elétricas nesta frota de caminhões, bem como o desenvolvimento de um plano de ação robusto para aumentar a confiabilidade destes caminhões e, consequentemente, melhorar os indicadores de desempenho da frota.

3.2. Análise e ações para mitigar o Problema

O emprego do Diagrama de Ishikawa ou 6M [4, 7, 11] permite uma abordagem estruturada para a investigação das causas potenciais de um problema, considerando seis aspectos principais: método, material, mão de obra,

Copyright © 2024 ISESC

máquina, medida e meio ambiente. Seu desenvolvimento deve ser feito através de sessões de *brainstorming* e análise crítica realizadas por uma equipe multidisciplinar, composta por profissionais das áreas de manutenção, PCM (Planejamento e Controle de Manutenção), engenharia e inspeção.

Usando o Diagrama de Ishikawa ou 6M, as causas raízes relacionadas às falhas do sistema elétrico da frota de caminhões CAT 793D [13] sob análise identificadas como descritas pela Tabela A.

A partir desta análise, fica evidente que as falhas no sistema elétrico dos caminhões são resultado de uma combinação de fatores, envolvendo desde a ausência de atividades de inspeção elétrica no plano de inspeção sensitiva, falhas no diagnóstico de ocorrências recorrentes até a falta de técnicos habilitados por turno e a necessidade de treinamento da equipe de manutenção.

Com base na análise do problema e nas causas raízes identificadas através do Diagrama de Ishikawa (Tab. A), a equipe de Engenharia de Confiabilidade da empresa

Tabela A. Resultados da aplicação Diagrama de Ishikawa na frota de caminhões sob análise.

Item do 6M	Descrição	Item do 6M	Descrição
Método	Ausência das atividades de inspeção elétrica no plano de inspeção sensitiva.	Mão de obra	Ausência de técnico habilitado para atuação nos diagnósticos elétricos, por turno.
	Falha no diagnóstico das ocorrências recorrentes relacionadas aos sensores elétricos.		Necessidade de treinamento e capacitação para lidar com as particularidades do sistema elétrico dos caminhões CAT 793D[13].
	Ausência de procedimento para execução da manutenção elétrica com qualidade.	Máquina	- (não foram identificadas causas relevantes nesta categoria)
Material	Inexistência de ferramentas específicas para manutenção do sistema elétrico do equipamento.	Medida	Falha no apontamento de classe de falhas e componentes elétricos.
	Falha na geração dos materiais do plano de manutenção preventiva.	Meio Ambiente	Exposição dos componentes elétricos a condições severas de operação, com poeiras, vibrações e altas temperaturas, contribuindo para o desgaste prematuro e falhas.

Tabela B. Plano de Ação segundo análise GUT na frota de caminhões sob análise.

Pilar	ID	Ação	Responsável	Prazo	GUT
Manutenção	1	Revisar e atualizar o plano de manutenção preventiva, incluindo atividades de inspeção elétrica e substituição de componentes críticos.	Gerente de Manutenção	30 dias	5×4×4=80
	2	Adquirir ferramentas específicas para manutenção do sistema elétrico, visando agilizar os reparos e garantir a qualidade da intervenção.	Supervisor de Manutenção	45 dias	4×3×3=36
Treinamento	3	Desenvolver e implementar um programa de treinamento técnico para a equipe de manutenção, abordando as particularidades do sistema elétrico dos caminhões CAT 793D.	Coordenador de Treinamento	60 dias	5×4×4=80
	4	Capacitar técnicos específicos para atuação nos diagnósticos elétricos, garantindo a disponibilidade de profissionais qualificados em todos os turnos.	Supervisor de Manutenção	90 dias	4×3×3=36
Processos	5	Elaborar procedimentos padronizados para execução da manutenção elétrica, detalhando as melhores práticas e pontos de atenção.	Engenheiro de Confiabilidade	45 dias	3×4×3=36
	6	Aprimorar o processo de diagnóstico das ocorrências recorrentes relacionadas a sensores elétricos, utilizando técnicas de análise de falhas e ferramentas de solução de problemas.	Engenheiro de Confiabilidade	60 dias	4×4×4=64
Monitoramento	7	Implementar indicadores de desempenho específicos para o sistema elétrico, permitindo o acompanhamento da eficácia das ações de melhoria e identificação precoce de desvios.	Analista de Confiabilidade	30 dias	3×3×3=27
	8	Aprimorar o processo de apontamento de classe de falhas dos componentes elétricos, garantindo a qualidade e consistência dos dados para análise.	Supervisor de PCM	45 dias	3×3×3=27

Copyright © 2024 ISESC

desenvolveu um plano de ação abrangente, utilizando a metodologia GUT. Esta metodologia permite priorizar as ações de melhoria, considerando a gravidade (G) do problema, a urgência (U) de sua resolução e a tendência (T) de agravamento caso nenhuma ação seja tomada.

O plano de ação foi estruturado em quatro pilares principais: Manutenção, Treinamento, Processos e Monitoramento, conforme apresentado na Tabela B. Cada pilar contém iniciativas específicas, com responsáveis e prazos definidos, visando mitigar as causas raízes das falhas no sistema elétrico da frota CAT 793D e aumentar a confiabilidade dos equipamentos.

Após o estabelecimento e priorização do plano de ação através da ferramenta GUT, as principais ações foram priorizadas e executadas. A Tabela C apresentam as evidências da implementação das ações mais relevantes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As ações implementadas e em fase de padronização, apresentadas no item 3.2 geraram ganhos com a evolução das ações apresentadas. Tais ganhos foram coletadas e apresentados a seguir.

No período citado no trabalho, de fevereiro a julho de 2023, o *MTBF* médio dos meses analisados foi de 17 horas (Fig. 4), com uma tendência de alta nas ocorrências de parada devido a falhas no sistema elétrico (Fig. 3). O maior impacto dos dados analisados foi observado em junho de 2023, com 91 falhas (Fig. 3). O trabalho se iniciou em maio de 2023 com a organização estrutural, análise de causa raiz, pesquisa em campo e verificação junto aos executantes, seguido do *brainstorming* e elaboração do Diagrama de Ishikawa ou 6M (Tab. A).

Tabela C. Evidências da implementação do plano de ação na frota de caminhões sob análise.

ID	Descrição da implementação	Imagem
1	O plano de manutenção preventiva foi revisado no sistema SAP com a inclusão de um *checklist* contendo imagens para facilitar a visualização dos principais itens a serem manutenidos no sistema elétrico. Esta medida visa aprimorar a execução das atividades de manutenção, garantindo que todos os pontos críticos sejam verificados e as ações necessárias sejam tomadas.	
2	Após a constatação, em campo, da necessidade de ferramental específico para a manutenção dos termelétrica da falta de caminhões CAT 793D foram adquiridos os principais itens para que a manutenção pudesse realizar com qualidade. A disponibilidade dessas ferramentas contribui para agilidade e eficácia das intervenções reduzindo o tempo de reparo e aumentando a confiabilidade do sistema.	
3	Foi realizado um treinamento prático e teórico pelo representante do equipamento no Brasil (Sotreq). O Programa de Treinamento abordou as especificidades do sistema elétrico dos caminhões CAT 793D, capacitando a equipe de manutenção para lidar com os desafios técnicos e executar as atividades de forma mais eficiente e segura.	 
4	A supervisão de manutenção definiu dois técnicos por turno dedicados ao diagnóstico e manutenção do sistema elétrico do equipamento. Essa medida visa garantir a disponibilidade de profissionais qualificados em todos os turnos, agilizando a identificação e correção de falhas e reduzindo o tempo de indisponibilidade dos equipamentos.	
5	Em parceria com representante do equipamento foram implementadas as melhores práticas de manutenção e intervenção do sistema elétrico da frota de caminhões CAT 793D. Um procedimento padronizado foi elaborado e a equipe foi treinada garantindo a consistência e qualidade das atividades de manutenção.	
6	Com o objetivo de aumentar a eficiência nas análises de falha, foi criada a reunião de análise do perfil de perdas, com frequência quinzenal. Nesta reunião as ocorrências críticas e crônicas do sistema elétrico do equipamento são tratadas utilizando técnicas de análise de falhas e ferramentas de solução de problemas. Essa abordagem sistemática permite identificação das causas raízes e definição das ações coletivas e preventivas mais efetivas.	

Copyright © 2024 ISESC

Em junho de 2023, com as ações propostas (Tab. B) sendo iniciadas, controladas e acompanhadas quinzenalmente em um fórum específico (Tab. C), percebeu-se que o aumento do *MTBF* e a redução das ocorrências de falhas do sistema elétrico.

Comparando-se o mês de início do plano de ação, junho de 2023, com março de 2024, houve um aumento de 47% no *MTBF*, passando de 19 horas (jun./2023) para 28 horas (mar./2024). Considerando-se a média anual de 2023 em relação ao primeiro trimestre de 2024, observa-se uma evolução maior de 53% no *MTBF* que passou de 17 para 26 horas, como apresentado no gráfico da Figura 5. Este ganho expressivo demonstra uma maior maturidade e qualidade nas manutenções dos sistemas elétricos obtida após as análises aqui apresentadas.

No que diz respeito às ocorrências provenientes do sistema elétrico da frota de caminhões CAT 793D, houve uma redução de 62% em comparação com o mês de início do plano de ação, ao longo de 9 meses (jun./2023 à mar./2024). As ocorrências apresentam uma nítida tendência de queda, conforme ilustrado no gráfico da Figura 6, sendo fevereiro de 2024 o melhor mês, com apenas 28 ocorrências registradas.

5. CONCLUSÕES

A engenharia de confiabilidade é uma disciplina fundamental para o sucesso e sustentabilidade de operações que dependem de equipamentos de alto desempenho. O foco na análise da confiabilidade e na implementação de estratégias eficazes de manutenção podem permitir que as organizações alcancem melhorias significativas em disponibilidade, confiabilidade e, consequentemente, na rentabilidade de suas operações.

O presente trabalho avaliou a melhoria nas condições de disponibilidade de uma frota de caminhões fora de estrada CAT 793D [13], empregados em atividades de mineração. A análise realizada através de Pareto evidenciou que o sistema elétrico dos caminhões é o maior responsável pelas paradas e horas de manutenção. Esta condição levou à frota apresentar um *MTBF* abaixo da meta da operadora que é de 28 horas.

Os trabalhos de melhoria foram balizados na ferramenta de qualidade *PDCA*, aliada à interpretação dos gráficos de Pareto e ao uso do Diagrama de Ishikawa (6M) como ferramentas fundamentais para a busca da causa raiz. Após as ações definidas e implementadas, obteve-se um aumento significativo de 53% no *MTBF* e uma redução de 62% nas ocorrências de falhas no sistema elétrico na frota.

Os resultados obtidos evidenciam a importância da aplicação de ferramentas de qualidade na identificação e solução de problemas complexos feita através de uma abordagem estruturada, aliada ao envolvimento de uma equipe multidisciplinar e ao acompanhamento e ajuste regular das ações propostas.

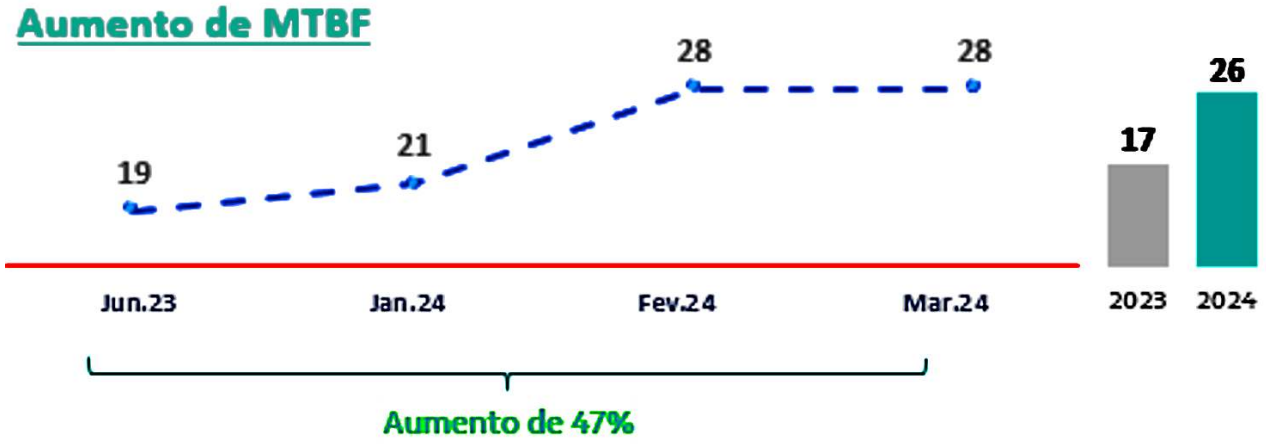

Figura 5. Gráfico do *MTBF* da frota de caminhões após a implementação das ações descritas neste trabalho.

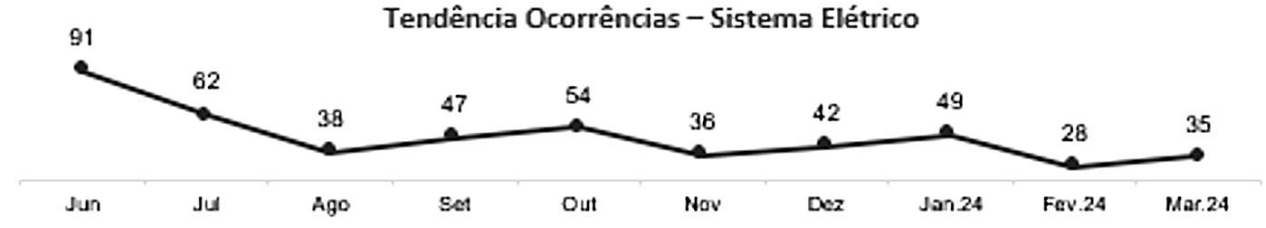

Figura 6. Gráfico tendência de falhas no sistema elétrico após a implementação das ações descritas neste.

Copyright © 2024 ISESC

6. REFERÊNCIAS

1. SACHS, N.W.; Pratical plant failure analysis - A guide to understanding machinery deterioration and improving equipment reliability. CRC - Taylor & Francis, USA, 2007.

2. AFFONSO, L. O. A. Equipamentos mecânicos: análise de falhas e solução de problemas. 2ª Edição. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2006. 321 p. (ISBN: 978-8573036343).

3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT 5462: Confiabilidade e mantenabilidade. Rio de Janeiro, p. 37. 1994.

4. ALCÂNTARA, A. S. et al. Trabalhos em Engenharia da Confiabilidade. São Vicente: WILLY ANK - Soluções para o Setor Metal-Mecânico, 2023, 272 p. (ISBN: 978-859442006-0). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/370125481_TRABALHOS_EM_ENGENHARIA_DA_CONFIABILIDADE_-_Vol_1. Acessado em 27 de setembro de 2024.

5. AFFONSO, L. O. A. Equipamentos mecânicos: análise de falhas e solução de problemas. 2ª Edição. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2006. 321 p. (ISBN: 978-8573036343).

6. LAFRAIA, J. R. B. Manual de confiabilidade, mantenabilidade e disponibilidade. Rio de Janeiro, BR: Qualitymark Editora: Petrobrás, 2014.

7. XENOS, H. G. Gerenciando a Manutenção Produtiva. Belo Horizonte: Falconi; 2ª edição, 2014, 312 p. (ISBN: 978-8598254647).

8. TELES, J. Bíblia do RCM – O Guia Completo e Definitivo da Manutenção Centrada na Confiabilidade da Era da Indústria 4.0. Brasília: ENGETELES Editora, 2024, 349 p. (ISBN: 978-6590051417).

9. FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. Confiabilidade e Manutenção Industrial. São Paulo: GEN LTC; 1ª edição, 2009, 288 p. (ISBN: 978-8535233537).

10. MARTINELLI, F. B. Gestão Da Qualidade Total. São Paulo: IESDE, 2009, 196 p. (ISBN: 978-8538704782).

11. LIMA, J. P.; CRUZ, L. C.; GODOIS, L. A. C.; SANTOS, P. A.; SILVA, J. F. R.; MORAIS, W. A. Emprego das Metodologias MASP e PDCA em uma Análise de Falhas de Equipamento Industrial. Unisanta Science & Technology, v. 7, p. 1-4, 2018. Disponível em: https://periodicos.unisanta.br/SAT/article/view/1255. Acesso em 10 de outubro de 2024.

12. MELLO, C. H. P. Gestão da qualidade. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2011, 192 p. (ISBN: 978-857605699-7).

13. CATERPILLAR. Caminhões de Mineração 793. Disponível em: https://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/off-highway-trucks/mining-trucks/116620.html. Acesso em 12 de setembro de 2024.

Copyright © 2024 ISESC