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

UNISANTA
Science and Technology
ISSN 2317-1316

Manutenção Centrada em Confiabilidade com Foco em Reduzir Manutenções Corretivas não Planejadas de uma Escavadeira Hidráulica de 22 Toneladas

Emerson Sousa Santos[1], Willy Ank de Morais[1,2]

[1]**UNISANTA**– Universidade Santa Cecília – Pós-Graduação *latu sensu* em Engenharia da Confiabilidade
Rua Cesário Mota, 8 - Bloco E - Boqueirão, Santos-SP, Brasil - CEP: 11045-907

[2]**WILLY ANK – Soluções para o Setor Metal-Mecânico**
Rua Onze de Junho, 316 - A.102 - Itararé, São Vicente-SP, Brasil, CEP: 11320-160

E-mail*:* willyank@unisanta.br
Received August, 2024

Resumo: Este artigo aborda os conceitos de Manutenção Centrada em Confiabilidade (*RCM*), objetivando, assim, implementar um plano de manutenção como estratégia para reduzir o tempo de parada inesperada de uma escavadeira hidráulica Doosan DX225LCA. O método utilizado foi um estudo de caso, que se iniciou com a revisão das definições e características dos tópicos em estudo. Em seguida, descreveu-se o estudo pela aplicação da análise de modos e efeitos de falha (FMEA), utilizando indicadores de confiabilidade e disponibilidade. Esta análise indicou a implementação de um novo plano de manutenção para o equipamento. Os resultados comprovam a eficácia obtida devido à implementação do plano de manutenção indicado, verificando a redução de custos e aumento da lucratividade para a empresa, com redução significativa de falhas associada. Portanto, a chave para atingir melhor eficiência para um ativo está no dimensionamento cuidadoso e na aplicação de seu plano de manutenção, alinhado ao seu desempenho e atividades, que foi o conceito central que este artigo buscou explorar e implementar.

Palavras chave: PCM; Disponibilidade; Confiabilidade; FMEA; Falhas.

Reliability-Centered Maintenance Focused on Reducing Unplanned Corrective Maintenance of a 22-Ton Hydraulic Excavator

Abstract: This paper reports on the concepts of Reliability Centered Maintenance (RCM), thus aiming to implement a maintenance plan as a strategy to reduce unexpected downtime of a Doosan DX225LCA hydraulic excavator. The method used was a case study, which began by reviewing the definitions and characteristics of the topics under study. It then described the case study in which the failure mode and effects analysis (FMEA) was applied, using reliability and availability indicators. This analysis indicated the implementation of a new maintenance plan for the equipment. The results indicate the effectiveness obtained due to the implementation of the indicated maintenance plan, verifying the reduction of costs and increase of profitability for the company, with an associated significant reduction of failures. Therefore, the key to achieving better efficiency for an asset lies in the careful dimensioning and application of its maintenance plan, in line with its performance and activities, this being the central concept that this work intended to explore and implement.

Keywords: RCM; Availability; Reliability*; FMEA; Failures.*

Copyright © 2024 ISESC.

1. Introdução

Para alcançar resultados sólidos, é crucial que o setor de manutenção de uma organização se concentre em aprimorar a eficiência do processo produtivo. Isso envolve a minimização dos custos associados a paradas inesperadas dos equipamentos, bem como o aumento da confiabilidade e segurança de sua operação, o que, por sua vez, conduz a uma maior lucratividade e competitividade no mercado [1].

É amplamente reconhecido que todos os equipamentos requerem algum tipo de manutenção. Segundo a NBR 5462 [2], a manutenção abrange uma série de ações técnicas e administrativas destinadas a manter ou restabelecer um item em condições adequadas para desempenhar sua função requerida. Um plano de manutenção eficaz demanda uma análise minuciosa do equipamento para identificar e mitigar possíveis falhas futuras, garantindo o sucesso das operações de manutenção [3].

Nesse contexto, o presente estudo propõe uma análise de modo e efeito de falhas (*FMEA*, *Failure Modes and Effects Analysis*) em uma escavadeira hidráulica modelo Doosan DX225LCA, operada por uma empresa locadora de equipamentos pesados. Este tipo de análise é bastante abrangente e possui aplicações diversas na área [4]. A meta é aprimorar o plano de manutenção, visando aumentar a confiabilidade e disponibilidade do equipamento, resultando em maior lucratividade.

2. Conceito de Manutenção

A manutenção preserva equipamentos, prolonga sua vida útil e é crucial nas empresas para garantir disponibilidade dos ativos, aumentando a lucratividade e reduzindo custos. Essas atividades, desde limpeza até inspeções e reparos, são essenciais para mitigar degradações causadas pelo uso ou desgaste natural dos equipamentos e instalações [5].

Neste sentido, a inclusão de fatores que promovam maior eficácia e eficiência nas manutenções promovem maior saúde física e financeira nas organizações contribuindo diretamente na melhoria organizacional e podem, dependendo do negócio, constituírem-se em fatos de distinção de mercado.

2.1. Plano e Controle de Manutenção

O Plano e Controle de Manutenção (PCM) é um conjunto de ações que auxiliam na estratégia utilizada nas empresas na parte das manutenções planejadas para melhoria dos processos, O PCM representa um dos principais fatores na manutenção, com o objetivo de controle e gerenciamento dele, implicando na melhoria dos custos das empresas e tempo de vida útil dos seus equipamentos [6]. O PCM é crucial para garantir a qualidade do serviço, fornecendo controle aos gestores e aumentando a confiabilidade.

Considerando a manutenção como um todo, é vital entender três tipos principais: (1) Corretiva Planejada, (2) Preventiva e (3) Preditiva, cada uma com abordagens distintas com abordadas a seguir.

2.1.1. Manutenção Corretiva Planejada

Este tipo de manutenção ocorre por decisão gerencial, em um equipamento que, sob análises e inspeções, tiver sido identificada, antecipadamente, uma falha potencial. Nesta situação é definido que o equipamento opere até a falha ocorrer, desde que não ocasione grandes prejuízos. Para que este tipo de manutenção seja aplicado corretamente é necessário que a empresa possua estoques de peças suficientes para os reparos [5].

2.1.2. Manutenção Corretiva Não Planejada

A manutenção corretiva não planejada, pode ser conceituada como “quebra-repara”, quando o equipamento só é reparado após avaria inesperada deste.

Este tipo de manutenção é a mais onerosa dentre as outras, mesmo porque também costumar abranger alguns prejuízos extras, além do tempo de parada e custo das peças de reposição em si, tais como: redução do tempo de vida útil dos equipamentos anexos, diminuição da disponibilidade, necessidade de um estoque de peças sobressalentes para uso não planejado etc. Estas condições levam a este tipo de manutenção a comprometer mais severamente o lucro das empresas [7].

2.1.3. Manutenção Preventiva

Esta é realizada de forma planejada, tendo como objetivo não apenas evitar as falhas dos equipamentos, mas principalmente aumentar e assegurar a disponibilidade e confiabilidade destes. Através desta modalidade de manutenção, o tempo de execução é reduzido ao se comparado com a manutenção corretiva.

A condição descrita anteriormente é possível graças ao planejamento e controle do tempo de disponibilidade e produção, feito previamente pelo plano de manutenção [1]. A estruturação de uma manutenção preventiva está ilustrada na Figura 1.

Copyright © 2024 ISESC *Unisanta Science and Technology* **(58-68) p.p. ISSN 2317-1316**



Figura 1. Fluxo de ações sistemáticas na estruturação

O custo de investimento para esse tipo de manutenção é mais elevado, devido à necessidade do envolvimento de profissionais mais qualificados. Porém possui importantes atributos, que a torna mais empregada nas empresas, especialmente pela segurança obtida na redução das paradas no processo produtivo e melhoria na lucratividade.

Esta filosofia de manutenção pode apresentar duas vertentes de balizamento: no tempo ou na condição do equipamento. A que se fundamenta no tempo, é quando a falha não foi identificada (ocorrida) e, ainda assim, o serviço de manutenção é efetuado. Já a baseada na condição do equipamento, é verificada a falha no ativo e o processo de atuação estão em prevenir que esta não ocorra com grande frequência [1].

2.1.4. Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva envolve a verificação do estado do material e do equipamento, melhorando a disponibilidade e reduzindo custos. Seu objetivo é antecipar falhas, permitindo ações preventivas para evitar perdas ou dificuldades maiores na correção dos problemas [1, 4].

Viana [8] cita quatro técnicas de inspeções preditivas como sendo as mais utilizadas, tais como: "Ultrassom, Termografia, Análise de vibração Mecânicas, Análise de óleo lubrificante" Tale acompanhamento pode ser realizado de 3 maneiras tais como: Monitoração subjetiva, objetiva e contínua. O emprego de tais técnicas para inspeção dos componentes, pode ser utilizado para aumentar ainda mais a confiabilidade dos equipamentos da planta [3].

2.2. Confiabilidade

A Confiabilidade de acordo com a NBR 5462 [2], possui o conceito de ser uma probabilidade de sucesso no desempenho do funcionamento de um item, equipamento ou sistema, por um determinado período, com valores que devem ser apresentados entre 0 e 1.

Para analisar a confiabilidade, é crucial definir um período de previsão adequado, variando conforme o equipamento e atividade. A análise envolve cálculos e medidas específicas para auxiliar na definição da periodicidade do plano de manutenção mais adequado em relação à confiabilidade que se espera do equipamento [9]. Uma das fontes de informações para esta análise advêm de horímetros, empregados para contabilizar as horas de operação, entretanto nem todos os equipamentos possuem este registro automático.

Um dos mais importantes indicadores utilizados na análise de confiabilidade é o Tempo Médio para Falhas (*MTTF*, *Mean Time To Failures*), que descreve a esperança matemática do tempo até a falha de um item. Pelo *MTTF* é possível visualizar como está a administração da manutenção, calculado conforme:

$$MTTF = \frac{\sum de\ horas\ em\ bom\ funcionamento}{Número\ de\ Falhas} \quad (1)$$

Outro indicador que também pode ser adotado descreve o Tempo Médio entre Falhas (*MTBF*, *Mean Time Between Failures*). Este é adotado quando o tempo necessário para o reparo ou troca de um item em falha não pode ser desprezado em comparação com o *MTTF*. Assim, para o cálculo do *MTBF*, também deve ser incluído o Tempo Médio de Reparo (*MTTR*, *Mean Time To Repair*), de forma que possa ser calculado como:

$$MTBF = MTTF + MTTR \quad (2)$$

O *MTTR* auxilia no controle dos reparos, sendo utilizado em equipamentos reparáveis. Seu cálculo é feito em termos do intervalo de tempo necessário para o restabelecimento do equipamento.

$$MTTR = \frac{\sum de\ horas\ em\ reparo}{Número\ de\ Paradas} \quad (3)$$

Para encontrar o valor percentual da confiabilidade de itens reparáveis de um ativo, é necessário calcular a taxa de falhas:

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

Copyright © 2024 ISESC

Obtendo esse resultado é possível aplicá-lo na equação da Confiabilidade, dada em função do tempo (t):

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (5)$$

Observando as equações apresentadas, nota-se que a confiabilidade, $R(t)$, será elevada quando a taxa de falhas é pequena ou o tempo médio para falhas é alto. Sendo assim, equipamento confiáveis possuem uma redução das paradas não programadas e menores custo de manutenção [10].

É importante salientar que confiabilidade e disponibilidade são termos que caminham juntos quando se trata de manutenção, pois são parâmetros que buscam identificar e visualizar falhas em sistemas ou produtos, a fim de assegurar a máxima eficiência e segurança em todo processo. Além disso outros conceitos são associados a confiabilidade, como a qualidade, manutenibilidade, segurança e confiança. Esses fatores são de extrema importância para que todos os processos ocorram com sucesso em uma empresa [10].

A confiabilidade está relacionada à manutenibilidade e disponibilidade, conceitos essenciais na manutenção [9, 11]. A manutenibilidade diz respeito à capacidade do componente, equipamento ou ativo ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções. Esta característica varia, conforme a natureza das unidades, se reparáveis ou não, e se estão funcionando ou em parada [12]. Já a disponibilidade refere-se à capacidade otimizada de um equipamento executar sua função, dependendo de uma manutenção adequada, realizada em momentos específicos. Ativos com maior manutenibilidade naturalmente tende a apresentar maior disponibilidade. Pode-se verificar tais fatos com o cálculo da disponibilidade da unidade que é representada pela fórmula:

$$A = \frac{MTTF}{(MTTF+MTTR)} \times 100 \quad (6)$$

Onde "A" representa a Disponibilidade da unidade, MTTF é o tempo médio para falhas e o MTTR significa o tempo médio até conclusão de reparos, Indicadores estes vistos no texto acima. Ressaltando que quanto maior o valor da disponibilidade, melhor para produção, pois entende-se o tempo que o equipamento estará disponível para funcionamento [10].

Dando seguimento ao conceito de manutenção e confiabilidade pode-se verificar o conceito de Manutenção centrada na confiabilidade (*RCM*, *Reliability-centered maintenance*) [9, 13], que traz a melhoria na base de estratégias que são utilizadas para garantir a confiabilidade, disponibilidade e segurança de todo sistema. Com a Aplicação da *RCM*, são obtidos vários benefícios como eliminação dos fatores de tensão, análise de falhas, teste de qualidade e revisão do projeto, controle de materiais, métodos e alterações.

O método da implantação da *RCM*, segue uma sequência programada, são estas: (1) seleção do sistema e coleta de informações; (2) análise do modo de falhas e efeitos; (3) seleção de funções significantes; (4) seleção de atividades aplicáveis e (5) avaliação da efetividade das atividades [14].

2.3. Análise de Modo e Efeito de Falhas (FMEA)

No processo de identificação de falhas, a *FMEA* é crucial. Ela determina modos de falha, analisa riscos e calcula o Número de Prioridade e Risco (*RPN*, *Risk Priority Number*). Essa ferramenta é essencial para planos de manutenção preventiva, aumentando a segurança, qualidade dos serviços e reduzindo custos dos equipamentos [9, 15]. Para elaboração da *FMEA* são aplicados os seguintes termos descritos a seguir:

1. Falha: Situação que retrata uma interrupção operacional ou funcional no equipamento ou sistema.
2. Modo de Falha: O aspecto como a falha se exibe no processo.
3. Efeito da Falha: Consequência ou resultado que a falha causa ao processo.
4. Causas da Falha: A razão que levou o modo de falha a ocorrer.
5. Critério de Ocorrência: Definição da classificação de frequência de ocorrência das falhas, sendo indicado de 1 como frequência mínima, a 10 como frequência constante.
6. Critério de Severidade: Classificação do grau de severidade, sendo definido de 1 a 10, levando em consideração níveis de gravidade mínima à máxima.
7. Critério de Detecção: Classificação de níveis de detecção da falha, podendo variar de 1 a 10, sendo 1 alto nível de detecção e 10 nível de detecção quase nula.
8. Número de Prioridade de Risco (RPN): Valor de risco que é calculado com base no produto dos critérios de ocorrência, severidade e detecção dos modos e efeitos de falhas, sendo um valor entre 1 e 1000.

Por fim após a elaboração da *FMEA*, e identificado por meio do *RPN* as falhas ou modos com maior valor. Esses serão analisados e apontando possíveis soluções para a redução da severidade ou ocorrência dessas falhas [10].

Copyright © 2024 ISESC

3. Metodologia

O presente trabalho caracteriza-se como um estudo de caso balizado na realização de uma pesquisa interna em uma empresa locadora de equipamentos pesados. Neste estudo foram aplicados métodos baseados em confiabilidade e uso da *FMEA* como suporte para a implantação das soluções propostas para melhorias de confiabilidade do ativo, comprovadas a partir de dados comparativos, buscando-se maximizar o seu rendimento.

Partindo disto foi elaborado um fluxograma, proposto para descrever as etapas necessárias para a realização do estudo, apresentado na Figura 2.

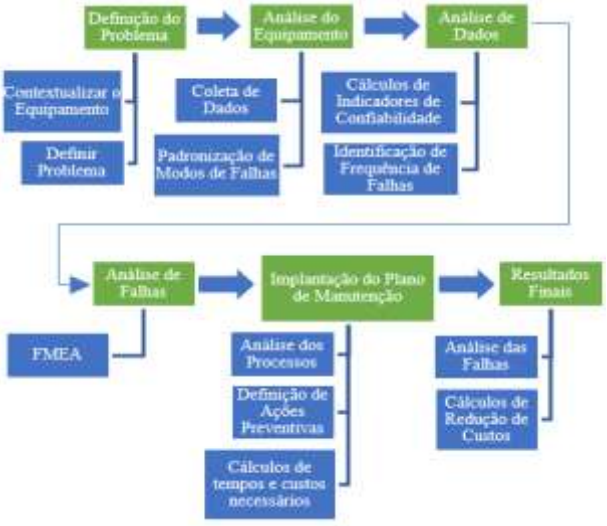


Figura 2. Fluxograma ilustrando a estruturação do presente estudo.

3.1. Ativo avaliado

O equipamento analisado consiste em uma escavadeira hidráulica modelo Doosan DX225LCA, ilustrada na Figura 3, que apresentou diversas paradas por manutenções corretivas no ano de 2023. Estas paradas reduziram sua disponibilidade e, consequentemente, os custos associados às suas manutenções.

Este equipamento realiza diversas funções tendo como principais, escavar e remover entulhos e solos, por apresentar fácil movimentação sob qualquer tipo de terreno, podendo ser empregado para remover e içar objetos. O modelo escolhido pode operar com grandes forças, neste caso até 22 toneladas, tendo seu uso difundido nos setores de construção civil e mineração.



Figura 3. Escavadeira Doosan DX225LCA.

3.2. Coleta e análise dos dados

Para a coleta dos dados foi realizada uma análise de documentos internos da empresa. Tal pesquisa se caracterizou como quantitativa, pois fez uso de medidas estatísticas baseadas em confiabilidade. Após a obtenção dos dados necessários, estes foram analisados e interpretados de forma a identificar os principais problemas.

Quantificaram-se as ordens de serviços (OS's) de manutenção de 2023, preenchidas pelo operador do equipamento e técnico responsável. Os documentos incluíam datas, horários de início e término da manutenção, horímetro atual, modos de falha e procedimentos de correção. A jornada de trabalho era de 10 horas diárias de segunda a sexta, com base no contrato de locação, que garantia 200 horas/mês de funcionamento, cobrando horas excedentes.

Para melhor organização e eficiência foi desenvolvida no software MS-Excel® uma planilha dinâmica especialmente para este estudo, obtendo-se indicadores de *MTTF*, *MTTR*, Disponibilidade e Confiabilidade segundo a Equação (3). Adotou-se, como medida de tempo, as horas indicadas nas OS's, pois o tempo de parada, quantificados pelo horímetro, seria nulo, já que este equipamento só contabiliza as horas em funcionamento da máquina.

Copyright © 2024 ISESC

3.3. Desenvolvimento do FMEA

Após a coleta dos dados foi montada uma equipe composta pelo operador da escavadeira, o técnico responsável, o líder de manutenção além dos integrantes deste estudo, para elaborar uma *FMEA*, ilustrada na Figura 4. Para a elaboração do *FMEA*, foram definidos os sistemas da escavadeira, seus componentes, a função de cada componente, o modo de falha, efeito da falha, causa da mesma. Também foram definidos os critérios, para as ocorrências, severidades e detecções fundamentados em tabelas de critérios, como ilustrado na Figura 5, para indicar as ações recomendadas para solucioná-las.

probabilidade de falhas, visando diminuir o número de ocorrências ao longo do ano.

3.4. Elaboração do Plano de Manutenção

A análise dos indicadores e da *FMEA* identificou os sistemas de lubrificação e alimentação de combustível como os mais propensos a falhas, com peças como filtro de óleo do motor, óleo hidráulico e filtro de combustível sendo substituídas frequentemente a cada 270 horas. Com isso, propôs-se um novo plano de manutenção preventiva baseado no tempo, adicionando intervenções a cada 250 horas ao plano existente, visando minimizar as falhas recorrentes.

FMEA - ESCAVADEIRA DOOSAN DX225LCA

RPN (ACIMA DE 200) - ITENS CRÍTICOS REQUER AÇÕES CORRETIVAS E/OU PREVENTIVAS IMEDIATAMENTE

RPN (ENTRE 100 E 199) - ITENS COM ALERTAS REQUER AÇÕES CORRETIVAS E/OU PREVENTIVAS MÉDIO PRAZO

RPN (ABAIXO DE 100) - ITENS COM RISCOS CONTROLADOS REQUER AÇÕES CORRETIVAS E/OU PREVENTIVAS A LONGO PRAZO

PONTO DA FALHA			ANÁLISE DE FALHAS			AVALIAÇÃO DE RISCO				AÇÃO PREVENTIVA RECOMENDADA
SISTEMAS	COMPONENTES	FUNÇÃO	MODOS DE FALHA	EFEITOS DE FALHA	CAUSA DA FALHA	OCORRÊNCIA	SEVERIDADE	DETECÇÃO	RPN	
MOTOR DIESEL	SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO - CÁRTER DO MOTOR	LUBRIFICAR AS PARTES MÓVEIS DO MOTOR PARA DIMINUIR O DESGASTE, O RUÍDO E AUXILIAR NO ARREFECIMENTO DO MOTOR	NÍVEL EXTREMAMENTE BAIXO DE ÓLEO	PARADA DA OPERAÇÃO, ATRITO DAS PEÇAS, DESGASTANDO AS MESMAS, AQUECIMENTO DO MOTOR	VAZAMENTO OU CONSUMO EXCESSIVO DE ÓLEO	2	5	5	50	VERIFICAR EXISTÊNCIA DE VAZAMENTOS NO CÁRTER, FOLGAS ENTRE OS CILINDROS DO MOTOR E NÍVEL DO ÓLEO A CADA 12 MESES
			CILINDROS DO MOTOR TRAVADOS OU COM ELEVADOS RUÍDOS	MÁQUINA INOPERÁVEL OU COM MAU FUNCIONAMENTO, DESGASTE DAS PEÇAS POR PARTÍCULAS ABRASIVAS.	FILTRO DE ÓLEO GASTO, INTERVALO DE TROCA DE ÓLEO EM EXCESSO, SEDIMENTOS NO CÁRTER	6	6	6	216	TROCAR ÓLEO LUBRIFICANTE, TROCAR FILTROS DE ÓLEO, VERIFICAR FOLGAS NAS PEÇAS DO MOTOR, LAVAR RESPIRO E TROCAR ANEL DE VEDAÇÃO, INSPECIONAR BUJÃO DE DRENO DO CÁRTER

Figura 4. Exemplo de um trecho da *FMEA* elaborada.

PONTO DA FALHA			ANÁLISE DE FALHAS			AVALIAÇÃO DE RISCO				AÇÃO PREVENTIVA RECOMENDADA
SISTEMAS	COMPONENTES	FUNÇÃO	MODOS DE FALHA	EFEITOS DE FALHA	CAUSA DA FALHA	OCORRÊNCIA	SEVERIDADE	DETECÇÃO	RPN	
MOTOR DIESEL	SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO - CÁRTER DO MOTOR	LUBRIFICAR AS PARTES MÓVEIS DO MOTOR PARA DIMINUIR O DESGASTE, O RUÍDO E AUXILIAR NO ARREFECIMENTO DO MOTOR	CILINDROS DO MOTOR TRAVADOS OU COM ELEVADOS RUÍDOS	MÁQUINA INOPERÁVEL OU COM MAU FUNCIONAMENTO, DESGASTE DAS PEÇAS POR PARTÍCULAS ABRASIVAS.	FILTRO DE ÓLEO GASTO, INTERVALO DE TROCA DE ÓLEO EM EXCESSO, SEDIMENTOS NO CÁRTER	6	6	6	216	TROCAR ÓLEO LUBRIFICANTE, TROCAR FILTROS DE ÓLEO, VERIFICAR FOLGAS NAS PEÇAS DO MOTOR, LAVAR RESPIRO E TROCAR ANEL DE VEDAÇÃO, INSPECIONAR BUJÃO DE DRENO DO CÁRTER
	SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DE COMBUSTÍVEL	ALIMENTAR O MOTOR COM COMBUSTÍVEL	MOTOR COM POUCA POTÊNCA OU ENGASGANDO	MOTOR NÃO FUNCIONA OU FUNCIONA COM DIFICULDADES	FILTROS DE COMBUSTÍVEL SUJOS, COMBUSTÍVEL CONTAMINADO, BOMBA INJETORA COM PROBLEMA, SEDIMENTOS NO TANQUE DE COMBUSTÍVEL	5	7	6	210	VERIFICAR BOMBAS E INJETORES DE COMBUSTÍVEL, DRENAR ÁGUA E SEDIMENTOS DO TANQUE DE COMBUSTÍVEL, INSPECIONAR E TROCAR FILTRO DE COMBUSTÍVEL PRIMÁRIO, LIMPAR FILTRO SEPARADOR DE ÁGUA X COMBUSTÍVEL

Figura 5. Falhas com maiores RPN.

Com base no indicador *RPN*, identificaram-se as principais falhas da máquina, priorizando aquelas com valores acima de 200. Isso facilitou a mitigação do risco, podendo reduzir a gravidade do efeito ou a probabilidade de ocorrência. Optou-se por atuar na redução da

Realizaram-se inspeções gerais e substituições das peças com maior probabilidade de falha, sem alterar as ações preventivas existentes. Um novo plano foi desenvolvido para as horas adicionais, com custos e tempos calculados para cada manutenção. Optou-se por

Copyright © 2024 ISESC

procedimentos semelhantes para intervalos de 250, 750, 1250, 1500 e 1750 horas, planejando ações conforme apresentado nas Tabelas 1 a 4.

Tabela 1: Plano de Manutenção 250 Horas.

PLANO DE MANUTENÇÃO DE 250 HORAS				
QUANT.	UNI	DESCRIÇÃO	VALOR	
1	PÇ	Troca do Filtro de óleo do motor	R$	89,34
1	PÇ	Troca do Filtro de combustível	R$	319,20
27	LTS	Troca do Óleo do motor	R$	459,00
1,5	Hrs	Mão de obra	R$	225,00
		VALOR TOTAL	R$	1.092,54

Tabela 2: Plano de Manutenção 500 Horas.

PLANO DE MANUTENÇÃO DE 500 HORAS				
QUANT.	UNI	DESCRIÇÃO	VALOR	
1	PÇ	Troca do Filtro de óleo do motor	R$	89,34
1	PÇ	Troca do Filtro de combustível	R$	319,20
1	PÇ	Troca do Filtro de ar externo	R$	465,98
1	PÇ	Troca do Filtro de ar condicionado da cabine	R$	142,00
1	PÇ	Troca do Filtro de ar interno	R$	234,79
27	LTS	Troca do Óleo do motor	R$	459,00
2	Hrs	Mão de obra	R$	300,00
		VALOR TOTAL	R$	2.010,31

Tabela 3: Plano de Manutenção 1000 Horas.

PLANO DE MANUTENÇÃO DE 1000 HORAS				
QUANT.	UNI	DESCRIÇÃO	VALOR	
1	PÇ	Troca do Filtro de óleo do motor	R$	89,34
1	PÇ	Troca do Filtro de combustível	R$	319,20
1	PÇ	Troca do Filtro de ar externo	R$	465,98
1	PÇ	Troca do Filtro de ar condicionado da cabine	R$	142,00
1	PÇ	Troca do Filtro de ar interno	R$	234,79
1	PÇ	Troca do Filtro de retorno do tanque hidráulico	R$	320,00
1	PÇ	Troca do Filtro da linha de pilotagem	R$	52,54
27	LTS	Troca do Óleo do motor	R$	459,00
7	LTS	Troca do Óleo do comando final	R$	154,00
3	LTS	Troca do Óleo do motor de giro	R$	66,00
3	Hrs	Mão de obra	R$	450,00
		VALOR TOTAL	R$	2.752,85

Tabela 4: Plano de Manutenção 2000 Horas.

PLANO DE MANUTENÇÃO DE 2000 HORAS				
QUANT.	UNI	DESCRIÇÃO	VALOR	
1	PÇ	Troca do Filtro de óleo do motor	R$	89,34
1	PÇ	Troca do Filtro de combustível	R$	319,20
1	PÇ	Troca do Filtro de ar externo	R$	465,98
1	PÇ	Troca do Filtro de ar condicionado da cabine	R$	142,00
1	PÇ	Troca do Filtro de ar interno	R$	234,79
1	PÇ	Troca do Filtro de retorno do tanque hidráulico	R$	320,00
1	PÇ	Troca do Filtro de sucção do tanque hidráulico	R$	430,00
1	PÇ	Troca do Filtro da linha de pilotagem	R$	52,54
27	LTS	Troca do Óleo do motor	R$	459,00
7	LTS	Troca do Óleo do comando final	R$	154,00
3	LTS	Troca do Óleo do motor de giro	R$	66,00
200	LTS	Troca do Óleo do Sistema hidráulico	R$	1.800,00
5	Hrs	Mão de obra	R$	750,00
		VALOR TOTAL	R$	5.282,85

4. Resultados e Discussão

4.1. Implantação do Plano de Manutenção

Com o plano de manutenção elaborado, esse foi avaliado, após aprovado pelos responsáveis da empresa, iniciando sua aplicação em 04/02/2024, realizando os procedimentos de ações preventivas indicados para as 250 horas trabalhadas. Para facilitar o monitoramento das manutenções seguintes, elaborou-se uma planilha de planejamento descrevendo as datas para as futuras manutenções ao longo do ano de 2024. Neste planejamento estão indicadas as datas e possíveis horímetros para as manutenções, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5: Plano de Manutenção 1000 Horas (data de início 04/02/2024).

FUTURAS MANUTENÇÕES 2024			
DATA	HORÍMETRO	Horas Trabalhadas	PROCEDIMENTO
04/02/2024	8849	250	PROCEDIMENTO PADRÃO PLANO DE 250 HORAS TRABALHADAS
02/04/2024	9098	500	PROCEDIMENTO PADRÃO PLANO DE 500 HORAS TRABALHADAS
29/05/2024	9351	750	PROCEDIMENTO PADRÃO PLANO DE 250 HORAS TRABALHADAS
22/07/2024	9602	1000	PROCEDIMENTO PADRÃO PLANO DE 1000 HORAS TRABALHADAS
11/09/2024	9851	1250	PROCEDIMENTO PADRÃO PLANO DE 250 HORAS TRABALHADAS
04/11/2024	10102	1500	PROCEDIMENTO PADRÃO PLANO DE 250 HORAS TRABALHADAS
23/12/2024	10345	1750	PROCEDIMENTO PADRÃO PLANO DE 250 HORAS TRABALHADAS

Com o novo plano de manutenção aplicado ao equipamento, deu-se início a observação dos resultados obtidos com sua implantação através dos indicadores de *MTTF*, *MTTR*, Disponibilidade e Confiabilidade, além dos custos totais com manutenções sendo elas corretivas ou preventivas. Por meio das estimativas de manutenções preventivas a serem realizadas para o ano de 2024 (Tabela 5), foram projetados os custos e tempos de paradas do equipamento para fins de comparação com o plano de manutenção anterior.

4.2. Análise dos resultados

Os resultados foram obtidos do início da implantação do plano de manutenção até o dia 29/04/2024. Tais dados foram comparados com os equivalentes obtidos no ano de 2023, para averiguação e validação da eficiência do novo plano de manutenção. Para comparação dos resultados foram elaborados gráficos com seus respectivos indicadores, de *MTTF*, Disponibilidade, Confiabilidade, total de horas paradas e custo de manutenções.

Conforme ilustra o gráfico da Figura 6, pode-se constatar que através do novo plano de manutenção o ativo aumentou seu indicador de *MTTF* em 48,5 horas na média, assim obtendo um maior tempo até falhar.

Copyright © 2024 ISESC *Unisanta Science and Technology* (58-68) p.p. ISSN 2317-1316

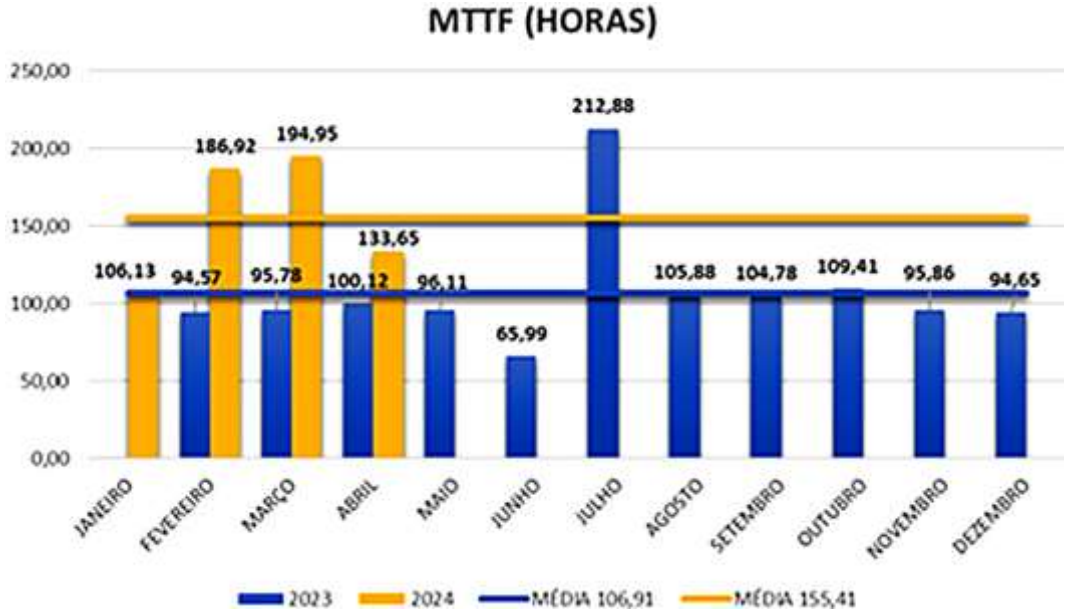


Figura 6. Gráfico ilustrando a evolução do indicador *MTTF* para a Escavadeira Doosan DX225LCA.

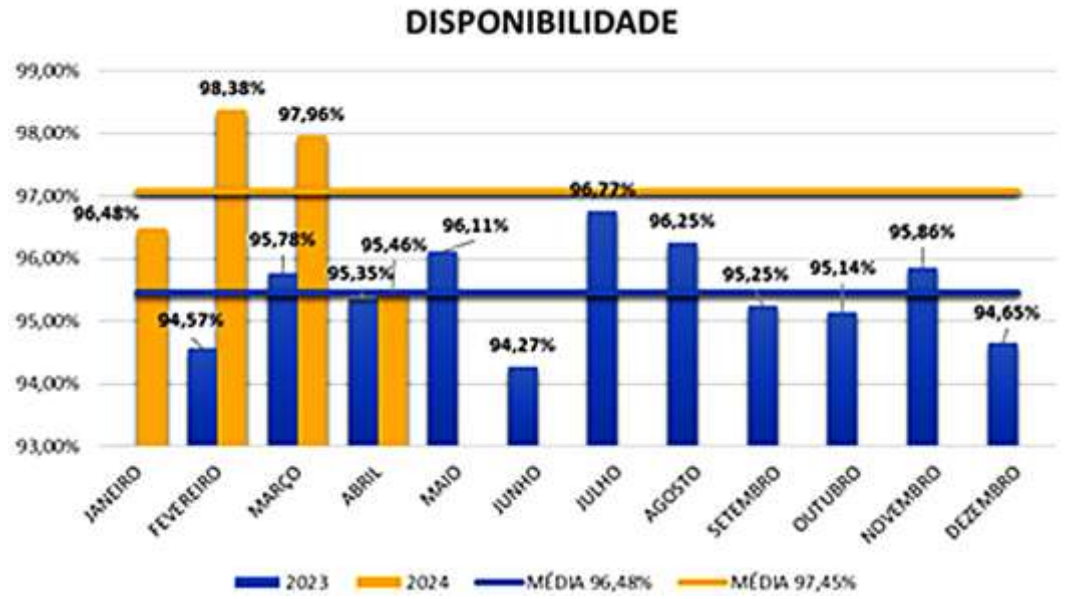


Figura 7. Gráfico ilustrando a evolução da Disponibilidade da Escavadeira Doosan DX225LCA.

Ainda na Figura 6,-nota-se que em janeiro/2024, como ainda não havia ocorrido a mudança no plano de manutenção, o indicador de *MTTF* apresentou um valor (106,1 h) similar à média obtida no ano anterior (106,9 h), apresentando a partir de fevereiro/2024 um aumento na média do *MTTF* (171,8 h), ou seja, indicando um maior rendimento no uso do ativo.

A confirmação de melhoria pelo indicador *MTTF* também foi refletida no indicador disponibilidade. Conforme o gráfico da Figura 7, a disponibilidade do equipamento apresentou um avanço, com um aumento de 96,5% para 97,3% após a aplicação do plano de manutenção, o que está associado a um aumento de produtividade e lucratividade.

Copyright © 2024 ISESC

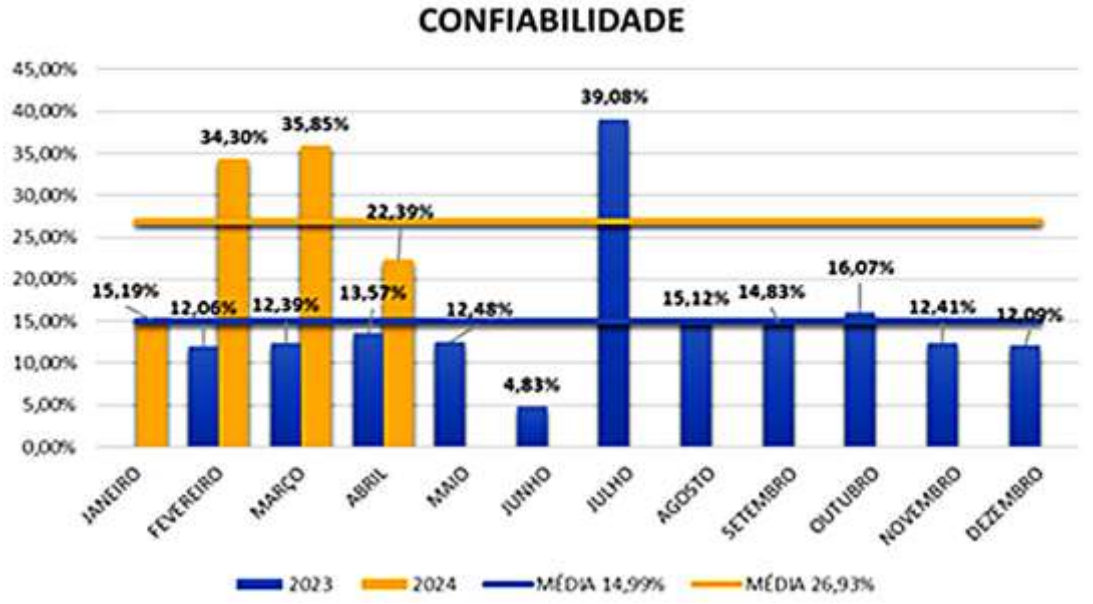


Figura 8. Gráfico ilustrando a evolução da Confiabilidade da Escavadeira Doosan DX225LCA.

Com os dados apresentados no gráfico da Figura 8 é possível constatar que a confiabilidade do equipamento se elevou expressivamente, saindo de uma média de 15,0% no ano anterior para 30,8 nos três primeiros meses após a implantação do novo plano de manutenção. Isso demonstra a eficiência do plano de manutenção, tornando o equipamento mais confiável para a realização de atividades.

Empregando a média das manutenções corretivas ocorridas no ano de 2024 para quantificar o tempo total de manutenção do equipamento pode falhar, obteve-se os dados apresentados na Figura 9. A diferença entre os resultados aponta um ganho médio de 42h na disponibilidade do equipamento, o que é vantajoso para a empresa, já que seu faturamento é oriundo das horas de utilização do equipamento.

A análise foi finalizada pelo uso de cálculos comparativos com os custos de manutenções ocorridas nos anos de 2023 e 2024, após a implantação do novo plano de manutenção, conforme Figura 10. Neste caso, em 2023, averiguou-se um gasto de R$ 40.024,04 em manutenções. Para descrever o ano de 2024 utilizou-se as estimativas das manutenções preventivas, com base na Tabela 5, juntamente com os cálculos de média de custos com as manutenções corretivas. Até o período de maio/2024 o valor total foi de R$ 7.275,69, o que leva a uma estimativa anual para 2024 de R$ 27.186,92; portanto 32% menor na comparação ano a ano.

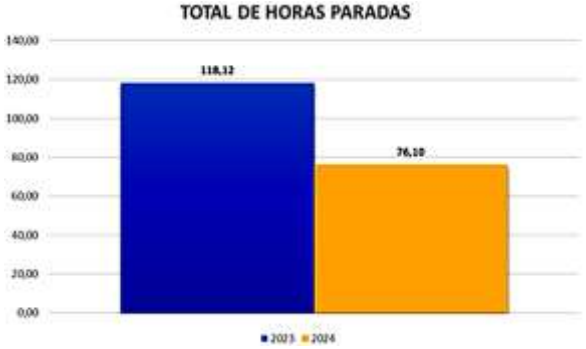


Figura 9. Variação no tempo total de horas paradas da Escavadeira Doosan DX225LCA.

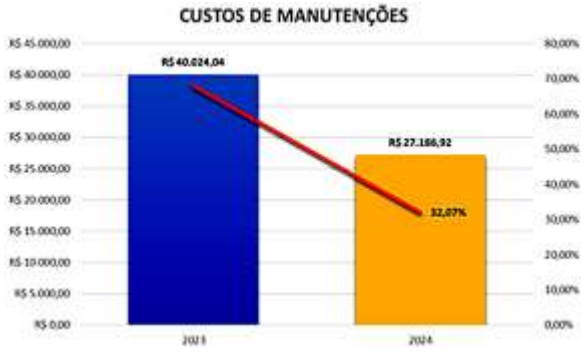


Figura 10. Diferença nos valores gastos em manutenção com aa Escavadeira Doosan DX225LCA.

Copyright © 2024 ISESC

5. Conclusões

Este trabalho demonstrou a eficácia da implantação de um novo Plano e Controle de Manutenção (PCM) balizado na Manutenção centrada na confiabilidade (*RCM*), evidenciando melhorias na disponibilidade do ativo e na organização do planejamento das manutenções.

A comparação dos dados de 2023 e 2024, estes últimos após a implantação do novo plano de manutenção, prevê-se um aumento da rentabilidade do equipamento, apesar dos custos adicionais. Isso destaca importância de um plano de manutenção adequado para reduzir falhas e aumentar lucros.

As melhorias aplicadas mostram que a metodologia utilizada foi eficaz, alcançando os objetivos e confirmando a utilidade dos métodos de manutenção centrada em confiabilidade. As estimativas correspondem às expectativas, refletindo no aumento da confiabilidade e na redução dos custos com manutenção.

Referências

1. ALMEIDA, P. S. D. Manutenção Mecânica Industrial Conceitos Básicos e Tecnologia Aplicada. São Paulo: Saraiva, 2018.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: Confiabilidade e Mantenabilidade: Terminologia. Rio de Janeiro. 1994.
3. MOREIRA, A. G.; BRASIL, A.; MAGALHÃES, C.; NORI, R. A.; SILVA, T. A. P.; OLIVEIRA, W. G. A Importância da Inspeção Termográfica em partes Mecânicas e Elétricas de *Boilers* Empregados em Vestiários. Unisanta Science and Technology. VoL. 12, 1, pp. 44-51, 2023.
4. LIMA, J. P.; CRUZ, L. C.; GODOIS, L. A. C.; SANTOS, P. A.; MORAIS, W. A.; FARAH, J. emprego das Metodologias MASP e PDCA em uma Análise de Falhas de Equipamento Industrial. Unisanta Science and Technology. VoL. 7, 1, pp. 1-4, 2018.
5. XENOS, H. G. D. Gerenciando a Manutenção Produtiva. 2ª. ed. Nova Lima: Falconi, 2014.
6. HÜNEMEYER, F. J. PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DAS FUNÇÕES DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA MANUTENÇÃO (PCM) EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO, 2017. Disponivel em: <https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/1666/1/2017FelipeJacoHunemeyer.PDF>. Acesso em: 09 maio 2024.
7. TROJAN, F.; MARÇAL, R. F. M.; BARAN, L. R. CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE MANUTENÇÃO PELO MÉTODO DE ANÁLISE, 2013. Disponivel em: <http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2013/pdf/arq0338.pdf>. Acesso em: 09 maio 2024.
8. VIANA, H. R. G. PCM, Planejamento e Controle de Manutenção. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.
9. MORAIS, W. A.; PAIXÃO, I. L.; CUNHA Jr., J. L. C.; CRUZ, J. S.; CARVALHO, M. S.; BENÍCIO, E. J. Manutenção Centrada em Confiabilidade: Estudo da Indisponibilidade de uma Perfuratriz Hidráulica. Unisanta Science and Technology. VoL. 12, 1, pp. 5-12, 2023.
10. FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. CONFIABILIDADE E MANUTENÇÃO INDUSTRIAL. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.
11. LAFRAIA, J. R. B. Manual de Confiabilidade, Mantenabilidade e Disponibilidade, 1ª edição, Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.
12. GIACOMET, L. F. UM MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO QUALITATIVA DE SOBRESSALENTES PARA HIDROGERADORES, 2001. Disponivel em: <https://core.ac.uk/download/pdf/30360934.pdf>. Acesso em: 09 maio 2024.
13. FERNANDES, L. V. ELABORAÇÃO DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO PARA AS MÁQUINAS RETROESCAVADEIRAS DA PREFEITURA MUNICIPAL DE NOVO MACHADO, 2015. Disponivel em: <https://www.fahor.com.br/publicacoes/TFC/EngPro/2015/Leonardo_Vianna_Fernandes.pdf>. Acesso em: 09 maio 2024.
14. NUNES, E. L. MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC): ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO EM UMA SISTEMÁTICA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA CONSOLIDADA, 2001. Disponivel em:

Copyright © 2024 ISESC

<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/82056/185318.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 09 maio 2024.

15. PEREIRA, P. M. D. S. Planos de Manutenção Preventiva - Manutenção de Equipamentos Variáveis na BA Vidro, SA, 2009. Disponivel em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/60372/1/000134625.pdf>. Acesso em: 09 maio 2024.
16. RODRIGUES, M. V. Sistema de Produção Lean Manufacturing. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

Copyright © 2024 ISESC