Unisanta Science and Technology, 2023, 10, March
Published Online 2023 Vol.12 http://periodicos.unisanta.br/index.php/sat)

UNISANTA
Science and Technology
ISSN 2317-1316

Manutenção Centrada em Confiabilidade: Estudo da Indisponibilidade de uma Perfuratriz Hidráulica

Willy Ank de Morais, Ingrid Lopes da Paixão, João Lúcio Carvalho da Cunha Júnior, Jonatas de Souza Cruz, Márlon Souza De Carvalho, Ericson de Jesus Benício

UNISANTA– Universidade Santa Cecília – Faculdade de Engenharia – Graduação em Engenharia Mecânica
Rua Oswaldo Cruz, 266 - Santos-SP, Brasil - CEP: 11045-100

E-mail: willyank@unisanta.br
Received June, 2022

Resumo: A crescente competição entre as organizações principalmente em relação aos custos fortaleceu diversos conceitos e metodologias globais disponíveis com o objetivo de serem fundamentos para a busca da melhoria continua. O presente trabalho tem a finalidade de realizar um estudo de caso para identificar e detalhar os principais fatores que influenciam nas paradas não programadas de manutenção corretiva e baixa disponibilidade de perfuração da Metal Ar que atua na Mina Volta Grande- Nazareno. Com base também na pesquisa bibliográfica e na coleta de dados no período de janeiro/2020 à dezembro/2020 foram realizadas análises qualitativas, quantitativas, estruturais, cálculo do tempo médio entre falhas, tempo médio entre reparos, com o intuito de mensurar a disponibilidade e analisar os modos de falha e seus efeitos.

Palavras chave: Confiabilidade. Disponibilidade. Análise de Weibull. FMEA. Estratégia de manutenção.

Reliability Centered Maintenance: Study of the Unavailability of a Hydraulic Drill

Abstract: The growing competition among organizations, mainly in relation to costs, has strengthened several global concepts and methodologies available with the objective of being the foundation for the search for continuous improvement. This work aims to carry out a case study to identify and detail the main factors influencing unscheduled corrective maintenance stoppages and low availability of drilling by Metal Ar operating at the Volta Grande- Nazareno Mine. Based on bibliographic research and data collection in the period from January/2020 to December/2020, qualitative, quantitative, structural analyzes were performed, calculating the mean time between failures, mean time between repairs, in order to measure availability and analyze failure modes and their effects.

Keywords: Reliability. Availability. Weibull analysis. FMEA. Maintenance strategy.

1. Introdução

Atualmente o cenário se encontra fortemente competitivo exigindo com que as organizações elevem o nível de qualidade de seus produtos para atender a demanda e exigência dos seus clientes. Simultaneamente, surgiu a necessidade de redução na probabilidade de falhas no processo produtivo, o que resultou em uma ênfase crescente em sua confiabilidade. Para atender as políticas atuais de gestão globais torna-se necessária a mudança de visão da manutenção como uma despesa desnecessária para ser enfatizada como uma ferramenta estratégica no alcance dos objetivos.

Por isso, toda a gestão da empresa deve ser constituída por uma percepção do futuro e os processos focados na satisfação do cliente, através da qualidade especifica de seus produtos e serviço, tendo como avaliadores a qualidade total dos processos produtivos. [1]

Copyright © 2023 ISESC.

A gestão da manutenção engloba o controle e os processos de reparo da empresa definindo onde, como e o porquê executar cada tipo de manutenção necessária para cada ocasião ocorrente.

Entretanto, a atuação da manutenção torna-se cada vez mais importante e suas consequências na estratégia operacional crescem, visto que a disponibilidade e a confiabilidade dos equipamentos afetam diretamente na produtividade, qualidade, segurança e custo final.

Em 2020, um dos desafios da empresa Metal AR, era aumentar a disponibilidade da perfuratriz (Figura 1) que estava instalada na área de produção de tântalo da AMG Mineração.



Figura 1. Perfuratriz FlexiROC D-65 Atlas Copco (Fonte: empresa em estudo).

O equipamento é utilizado para perfuração DTH em mineração a céu aberto e em grandes pedreiras. É um equipamento robusto e multifuncional o que amplia sua utilização devido sua flexibilidade e capacidade de executar várias tarefas como sua capacidade de entregar furos lisos e leves [2].

A perfuratriz é dividida por dois acionamentos, a rotação (hidráulica) fora do furo e a percussão (quase toda pneumática) dentro do furo, com a coroa. Comparada com outras perfuratrizes proporcionam furos maiores e mais profundos. Desenvolvida para evitar dissipação de energia, converte energia do ar comprimido em percussão sendo aplicado praticamente todo na perfuração.

No processo, esta máquina é fundamental, pois as etapas seguintes estão ligadas a sua execução, conforme Figura 2.

Será abordado no decorrer deste trabalho modelos e métodos utilizados na engenharia de confiabilidade para análise de disponibilidade da Perfuratriz FlexiROC D-65 a fim de reduzir paradas não planejadas, custos e aumentar a confiabilidade do equipamento.

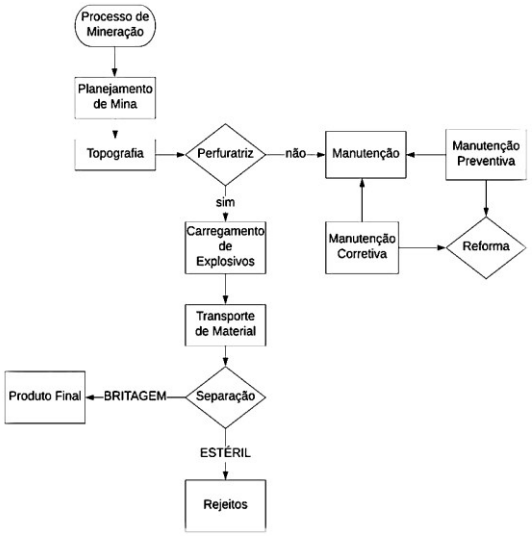

Figura 2. Fluxograma de Processo (Fonte: os autores)

2. Desenvolvimento

O método adotado envolve um estudo de caso, além de pesquisa bibliográfica e análise de dados coletados em campo.

O trabalho foi dividido nas seguintes etapas:

2.1. Coleta de dados.
2.2. Cálculo dos indicadores de manutenção.
2.3. Análise Weibull.
2.4. Análise estrutural dos componentes.
2.5. Aplicação da ferramenta FMEA que permite a identificação das falhas críticas em cada componente, causas e consequências.

2.1 Coleta de Dados

2.1.1 Estratégia de Manutenção

Na Metal Ar há uma empresa exclusiva para a manutenção das Perfuratrizes Hidráulicas, a ATEDRILL Peças e Serviços. Ela é composta por técnicos especializados que avaliam, acompanham e realizam as atividades de manutenção. A manutenção é realizada de duas maneiras, a manutenção programada de acordo o plano de manutenção do fabricante aperfeiçoado pela empresa e a manutenção corretiva, conforme fluxograma da Figura 3.

Para impedir que aconteçam interrupções ou paradas inesperadas no processo de perfuração a empresa realiza

Copyright © 2023 ISESC

inspeções visuais e baseado nas condições do equipamento é efetuada a manutenção preventiva em intervalos programados.

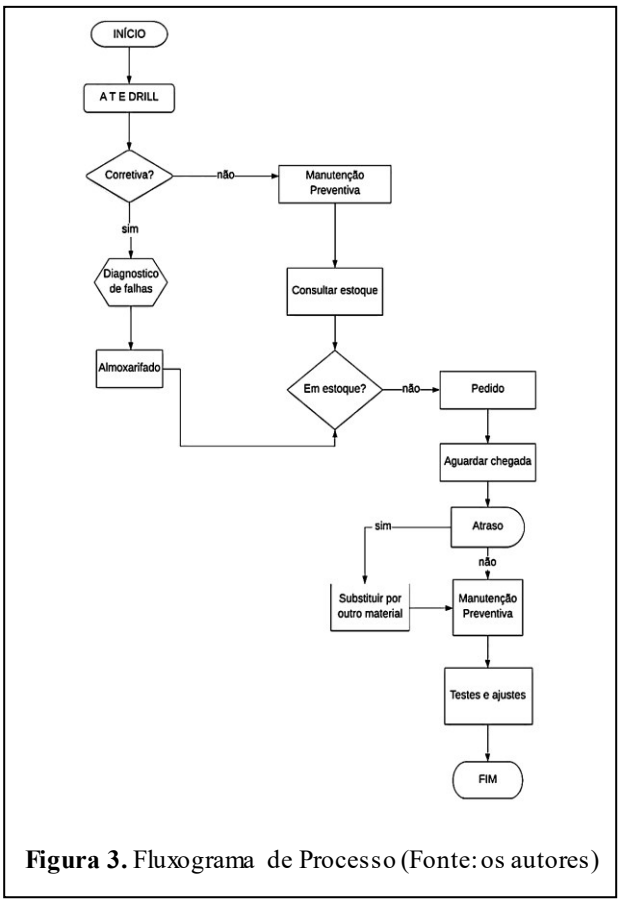

Figura 3. Fluxograma de Processo (Fonte: os autores)

A manutenção corretiva é realizada quando o equipamento para por quebras inesperadas. Os equipamentos são acompanhados diariamente facilitando a intervenção dos técnicos mediante a parada não programada.

2.1.2 Histórico de Falhas

A condição necessária para a realização do estudo é que o equipamento ou processo possua um banco de dados com informações de manutenção suficientemente adequadas e confiáveis. Neste caso foram coletados dados históricos referentes às falhas do equipamento em estudo no último ano, no período de janeiro de 2020 à dezembro de 2020.

O histórico de falhas representa um espelho do passado do equipamento, sendo utilizado para calcular o tempo médio entre falhas (MTBF), o tempo médio para reparo (MTTR), a disponibilidade, realizar a análise de Weibull, etc. Após realizar os cálculos, é possível fazer uma análise do equipamento e do processo de manutenção, conhecer e identificar os pontos de melhorias e estudar quais são as melhores estratégias para evitar que erros se repitam e, é claro, otimizar o trabalho dos mantenedores.

A Tabela 1, apresenta os dados obtidos do histórico de falhas que serão utilizados para calcular e realizar as análises necessárias.

2.2 Cálculo dos Indicadores de Manutenção

2.2.1 Tempo Médio Entre Falhas

O MTBF ou tempo médio entre falhas é definido pela soma das horas de operação divido pelo número de intervenções corretivas [3~5]. O tempo médio entre falhas é utilizado para controlar e impulsionar os resultados da manutenção, define a confiabilidade do equipamento e consequentemente a atuação da equipe. Quanto maior é o valor do MTBF, melhor é o resultado da manutenção. Conforme o gráfico da Figura 4, a média anual do equipamento em estudo foi de 106,8 horas.

O cálculo do MTBF é realizado de acordo com:

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

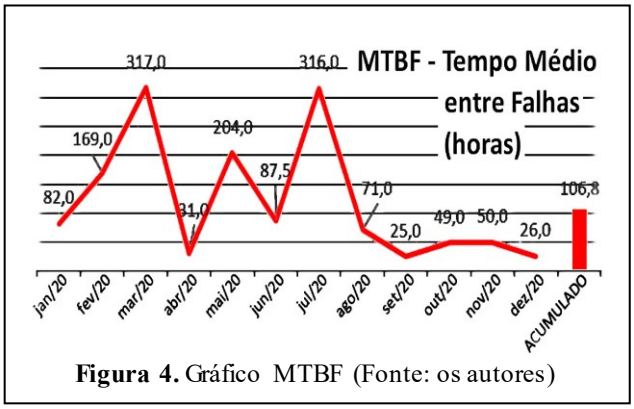

Figura 4. Gráfico MTBF (Fonte: os autores)

2.2.2 Tempo Médio Entre Reparo

O MTTR ou tempo médio para reparo é definido pela soma das horas de intervenções corretivas divido pelo número de intervenções corretivas [3~5]. O tempo médio entre reparo representa as horas que a equipe de manutenção utiliza para reparar um componente e quanto menor esse índice melhor, o que significa agilidade na resolução do problema, mas não na eliminação da causa raiz. Conforme o gráfico da Figura 5, a média anual foi de 44,3 horas.

O cálculo do MTBF é realizado de acordo com a fórmula (2):

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

Copyright © 2023 ISESC.

Tabela 1. Dados do equipamento em estudo em horas (Fonte: Empresa ATREDILL).

MESES	TEMPO PLANEJADO (CALENDÁRIO)	TEMPO DE OPERAÇÃO (TEMPO ATÉ A FALHA)	TEMPO DE REPARO	TEMPO DE OCIOSIDADE	NÚM. DE FALHAS	MTBF	MTTR	DISP.
jan/20	505,8	46 50 150	156	103,8	3	82	52	61,20%
fev/20	571,7	200 138	140,1	93,6	2	169	70,1	70,70%
mar/20	524,4	317	56,9	150,5	1	317	56,9	84,80%
abr/20	139,3	31	3,8	104,5	1	31	3,8	89,10%
mai/20	304,6	204	63,8	36,8	1	204	63,8	76,20%
jun/20	514,5	75 100	90,3	249,2	2	87,5	45,2	66,00%
jul/20	419,8	316	36,3	67,5	1	316	36,3	89,70%
ago/20	373,8	71	36,7	266,1	1	71	36,7	65,90%
set/20	161,3	20 30	80	31,3	2	25	40	38,50%
out/20	366,5	49	34	283,5	1	49	34	59,00%
nov/20	211,9	25 75	87	24,9	2	50	43,5	53,50%
dez/20	44,7	26	11,7	7	1	26	11,7	69,00%

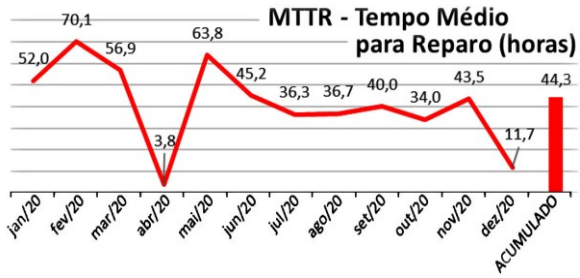

Figura 5. Gráfico MTTR (Fonte: os autores)



Figura 6. Gráfico de Disponibilidade (Fonte: os autores)

2.2.2 Disponibilidade

A "disponibilidade é a 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" [3~5].

O cálculo da disponibilidade, apresentado na Figura 6, é realizado de acordo com:

$$DISPONIBILIDADE\ (\%) = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR}\ X\ 100 \quad (3)$$

2.3 Análise de Weibull

No estudo da confiabilidade de um ativo é possível realizar uma análise dos dados de vida deste, também conhecida como Análise Weibull, que é um método que pode utilizar até 3 parâmetros para a modelagem dos dados aleatórios e que tem a finalidade de estimar o ciclo de vida de um ativo ao longo de um determinado período, podendo também levar ao cálculo da sua Confiabilidade C(x), ou probabilidade de falha em um período específico[6,7].

Utilizamos neste trabalho a equação triparamétrica de Weibull que leva em consideração a dispersão dos dados

Copyright © 2023 ISESC

(parâmetro β), a escala (parâmetro η) e a localização (parâmetro γ), conforme a equação:

$$f(x) = \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{x-y}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x-y}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (4)$$

Os dados extraídos da Análise Weibull possibilitam estabelecer qual a posição do equipamento em relação a Curva da Banheira e até mesmo auxiliar na definição da periodicidade do plano de manutenção mais adequado em relação à confiabilidade que se espera do equipamento.

No gráfico da Figura 7 é possível verificar que para manter a confiabilidade do sistema acima de 97%, seria necessário realizar manutenção preventiva a cada intervalo de 19 horas de operação. Para manter a confiabilidade do sistema em 80%, seria necessário realizar manutenção preventiva a cada intervalo de 30,6 horas de operação.

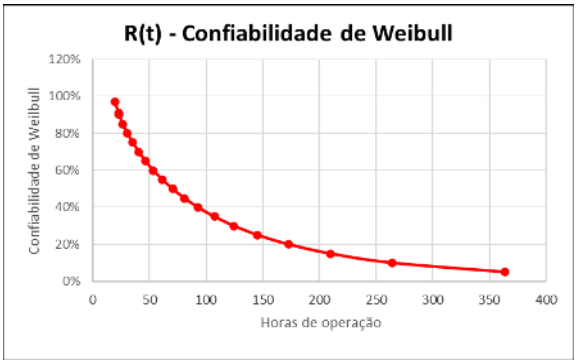

Figura 7. Gráfico da Função de Confiabilidade de Weibull – R(t) (Fonte: os autores)

2.4 Análise Estrutural dos Componentes

A válvula hidráulica é composta por mecanismos mecânicos, operada eletricamente por solenoide conforme ilustrado na Figura 8. Sendo assim, qualquer contaminação prejudica o bom funcionamento provocando falhas intermitentes, assim com associada aos seguintes eventos (vide Tabela 2):

- falta de limpeza causando mal contato provocando curto-circuito no equipamento com ilustrado na Figura 9,
- furo no trocador de calor, provocando contaminação do óleo com água.
- lubrificante contaminado perde sua eficiência, acarretando aquecimento e contato metal com metal, evento que danifica as engrenagens, eixo e rolamentos do redutor conforme Figuras 10, 11 e 12.



Figura 8. Alojamento de válvulas (Fonte: os autores)



Figura 9. Válvula em curto circuito (Fonte: os autores)



Figura 10. Engrenagens danificadas (Fonte: os autores)

Copyright © 2023 ISESC.



Figura 11. Eixo e porca do rolamento danificados (Fonte: os autores)



Figura 12. Rolamentos e vedações danificados (Fonte: os autores)

2.5 Aplicação da ferramenta FMEA – Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos

O FMEA é utilizado para conhecer todos os eventos que podem causar uma falha no equipamento e seus efeitos, visando identificar maneiras de eliminar suas ocorrências. É um método qualitativo de análise de confiabilidade muito utilizado na elaboração de planos de manutenção, pois além de determinar os modos de falha e analisar os seus respectivos riscos, ainda leva em consideração as suas probabilidades de ocorrência, a severidade caso a falha aconteça e qual o grau de dificuldade de detecção da falha [8].

Foram realizadas pesquisas com os integrantes do grupo, observação em campo dos operadores e mecânicos junto com o histórico de falhas existente, como exemplificado na Tabela 2. O embasamento teórico das perguntas foi relacionado com o preenchimento da FMEA, sendo elas:

- Qual a função do equipamento?
- Quais os principais componentes e suas funções?
- Quando ocorre falha, que efeito é observado?
- Quais as falhas que ocorrem em cada um dos componentes e quais as causas?
- Qual os tempos médios de parada durante uma parada de manutenção corretiva?
- O que pode ser feito para evitar a falha?

Posteriormente, os dados foram incluídos em uma planilha e com base nos resultados da Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos, no Apêndice 1 foi possível identificar os modos de falha em cada componente da Perfuratriz.

Tabela 2. Componentes e seus modos de falha (Fonte: os autores)

COMPONENTES DA PERFURATRIZ	MODOS DE FALHA
Compressor	- Vazamento do óleo lubrificante - Superaquecimento do óleo devido a contaminação dos trocadores de calor externamente
Motor a diesel	- Vazamento do óleo
Coluna de Perfuração	- Desalinhamento das ferramentas de perfuração - Desgaste nas placas deslizantes
Chassi	- Desgaste nas buchas de fixação - Trincas na estrutura
Cabine	- Desgaste nos amortecedores
Bombas hidráulicas	- Vazamento do óleo hidráulico
Quadro elétrico	- Em curto circuito

Para classificar as falhas e suas consequências no processo recorremos a ferramenta RPN (Número de Prioridade de Risco) que serve para definir quais falhas serão tratadas em questão de planejamento e hierarquia de atendimento. O RPN é calculado pela multiplicação dos níveis de ocorrência, severidade e detecção das falhas. De forma geral um baixo RPN representa uma falha frequente, porém de fácil detecção e pequeno impacto. Já um valor maior de RPN representa uma falha pouco frequente, mas com grande impacto e gravidade quando da sua ocorrência.

Foram definidos os componentes críticos do equipamento, identificados pelo RPN (valor de risco), e demonstrado nos resultados da Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos, no Apêndice 1.

3. Resultados e Discussão

Com a utilização das metodologias propostas, como índices de manutenção e ferramentas de qualidade foi possível identificar e detalhar possíveis fatores que interferem na baixa disponibilidade do equipamento e entender a sua condição atual de desempenho. O histórico de falha do equipamento demonstra que apesar do mesmo apresentar uma disponibilidade anual em torno de 70,7%, este indicador oscilou entre 38,5% no mês de setembro e

Copyright © 2023 ISESC

89,7% no mês de maio de 2020, o que implica que não há uma previsibilidade segura de desempenho e disponibilidade do equipamento.

Houve ocorrência de falha em todos os meses do ano, e devido a classificação do RPN foi possível identificar que as falhas mais críticas foram relacionadas ao motor a diesel, quadro elétrico e ao compressor.

4. Conclusões

Podemos concluir que apesar Perfuratriz FlexiROC D-65 possuir um programa de manutenção preventiva realizado pela ATEDRILL Peças e Serviços, as ocorrências de falhas se mostraram constantes e influenciaram na disponibilidade do equipamento. Vale ressaltar que o programa de manutenção executado atualmente é embasado no manual do fabricante, e por isso não leva em consideração elementos externos e características inerentes ao local de trabalho do equipamento que podem contribuir para um índice de manutenção não idealizado pelo fabricante.

Pelo estudo do histórico de falhas e a aplicação das ferramentas de Eng. de Confiabilidade podemos concluir que é possível aumentar a disponibilidade da perfuratriz para um valor aceitável controlando o intervalo entre as manutenções preventivas e priorizando os itens que apresentaram falhas mais relevantes revisando o plano de manutenção preventiva com foco para os filtros de ar e combustível do motor a diesel, para vazamentos nos trocadores de calor e radiadores do compressor e também reaperto e limpeza nas conexões elétricas do quadro de acionamento e comando do equipamento.

Este estudo não foi realizado com o objetivo de revisar o plano de manutenção e as tarefas nele relacionadas, ficando como sugestão para novos estudos uma revisão da lista de tarefa, embasada no FMEA, adequando aos itens que apresentaram mais falhas visando diminuir suas ocorrências.

O estudo permitiu uma visão da disponibilidade da perfuratriz e qual o impacto da manutenção preventiva neste importante indicador. A Engenharia de Confiabilidade utiliza ferramentas e métodos que só são possíveis a partir do momento que existe um registro ou histórico dos eventos de manutenção e de falhas do equipamento. A partir desse histórico e da aplicação das ferramentas de confiabilidade podemos criar uma série de informações que auxiliarão na tomada de decisão das ações necessárias para o aumento da disponibilidade da perfuratriz sempre observando o custo de manutenção versus a disponibilidade aceitável, para assim encontrar uma estratégia de manutenção que justifique o investimento e promova o retorno esperado.

Referências

1 KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção Função Estratégica.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

2 FLEXIROC D50, 55, 60, 65 T3. **Manual de Operação.** Disponível em. <www.atlascopco.com>. Acesso em: 05 abr. 2021.

3 Fogliatto, Flávio Sanson; Duarte, José Luis Ribeiro. **Confiabilidade e manutenção industrial.** Rio de Janeiro: Editora Elsevier, ABEPRO, 2011.

4 LAFRAIA, J. R. B. **Manual de Confiabilidade, Mantenabilidade e Disponibilidade.** Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, Petrobras, 2001.

5 FILHO, Gil Branco. **Indicadores e Índices de Manutenção.** Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2006.

6 TELES, Jhonata. **Bíblia do RCM: O guia completo e definitivo da manutenção centrada na confiabilidade na indústria 4.0.** Brasília: Editora ENGETELES, 2019.

7 SIQUEIRA, Iony Patriota. **Manutenção centrada em confiabilidade.** Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2005.

8 ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e mantenabilidade.** Rio de Janeiro, 1994.

Copyright © 2023 ISESC.

5. Apêndice 1 – FMEA

FMEA - ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DE FALHA									
Etapa	**Função, Característica ou Requisito**	**Modo de Falha**	**Efeito(s) da Falha**	**Severidade**	**Causa(s) da Falha**	**Ocorrência**	**Controles Atuais** **Métodos Prevenção (P) e Detecção (D) das Causas**	**Detecção**	**NPR**
Compressor	Produzir um volume de ar para o sistema de perfuração.	Superaquecimento Vazamento	Baixo fornecimento de volume de ar para o sistema provocando o desligamento do equipamento devido ao sistema de segurança contra superaquecimento atuar.	6	Trocadores de calor e radiadores contaminados.	7	Preventiva e Corretiva	3	126
Motor a diesel	Fornecer energia mecânica para todo o equipamento.	Vazamento	Baixo rendimento e potência de todos os sistemas que recebem energia mecânica do motor.	7	Filtros de combustivel e ar obstruidos.	7	Preventiva e Corretiva	4	196
Bombas Hidráulicas	Fornecer energia hidráulica para a movimentação dos implementos e do equipamento.	Vazamento	Baixa eficiência e velocidade dos sistemas hidráulicos (implementos, motores hidráulicos) e contaminação do ambiente com oléo.	3	Temperatura excessiva de operação causando baixa viscosidade do fluido tornando a lubrifação ineficiente e desgaste nas peças internas das bombas e cilindros.	8	Preventiva e Corretiva	1	24
Quadro Elétrico	Distribuição de cabos, corrente e acionamento primário para os componentes elétricos e eletrônicos.	Curto circuito	Acionamento parcial ou não acionamento de alguns componentes.	6	Vibração excessiva, entrada de poeira, mal contato dos componentes (contatores, fusíveis, terminais dos cabos).	7	Preventiva e Corretiva	3	126
Coluna de perfuração	Responsável por alocar os acessórios principais para a perfuração.	Desalinhamento Desgaste	Baixa qualidade nos alinhamentos dos furos, causando baixa eficiência do explosivo no momento da detonação e desgaste prematuro das ferramentas de perfuração.	6	Placas de desgaste com folga excessiva.	3	Preventiva e Corretiva	3	54
Chassi principal	Estrutura que serve de plataforma para alocar os componentes como motor, compressor, bombas e demais acessórios.	Desgastes, Trincas	Vibração excessiva podendo ocasionar problemas mais graves e parar o equipamento de imediato.	2	Folga excessiva nas buchas da oscilação dos trucks que alojam o sistema rodante.	10	Preventiva e Corretiva	3	60
Cabine	Aloca todos os componentes de comando do equipamento e acomodação do operador.	Desgaste	Vazamento de óleo e parada do equipamento devido a perturbação ao operador.	2	Vedações danificadas nas portas e vidros laterais, frontais superiores, folga nas dobradiças das portas e trancas.	5	Preventiva e Corretiva	1	10

Copyright © 2023 ISESC