

CONFIABILIDADE APLICADA A MOTORES DIESEL DE PERFURATRIZES GIRATÓRIAS

Guilherme de Souza Paiva, guilherme.paivasouza@hotmail.com¹

Marco Antônio Sabará, marco.sabara@ifmg.edu.br¹

Ailanderson José Magalhães Gurgel, ailandersonjmg@hotmail.com¹

Lucas Adriel Elias Ferreira, lucasadriel@outlook.com¹

Otávio Apolinário dos Anjos, otavio_anjo@hotmail.com¹

Wiliam Nascimento Silva, wiliansorin08@hotmail.com¹

¹Instituto Federal de Minas Gerais - Campus Congonhas, Av. Michel Pereira de Souza, 3007 - Campinho, Congonhas - MG, 36415-000

Resumo: Perfuratrizes são equipamentos de grande porte utilizados no setor de mineração. Atuam na frente de lavra possibilitando a retirada do minério através da abertura da rocha para alojar as cargas de explosivos utilizadas nos desmontes obtendo assim a matéria prima da mineração. Por se tratar de um equipamento primário de suma importância na exploração do minério, que está sujeito a grandes esforços e desgaste em sua operação, é fundamental examinar seu histórico de falhas para que a gestão da manutenção ocorra da maneira mais assertiva possível. Os conceitos de manutenibilidade e confiabilidade presentes na norma NBR 5462, podem ser trabalhados de forma estatística baseada na distribuição de Weibull, para que, esses equipamentos possam ter sua disponibilidade elevada. No presente trabalho realizou-se uma análise de falha aplicada aos motores diesel de uma frota de perfuratrizes Caterpillar MD 6290. Com os dados foi possível implementar a execução do estudo de confiabilidade dos motores, colaborando de forma significativa para melhor entendimento do comportamento do equipamento. Foram obtidos diversos parâmetros, tais como: densidade de falhas, tempo de reparo, tempo médio entre falhas, disponibilidade física, sendo os três últimos indicadores citados de suma importância na e que irão contribuir na elaboração e controle da gestão de manutenção da frota.

Palavras-chave: Confiabilidade, Weibull, Motores Diesel, Engenharia de Manutenção

1. INTRODUÇÃO

As perfuratrizes são importantes componentes do processo de mineração sendo as responsáveis pela primeira operação que se realiza. A função das perfuratrizes é a perfuração das rochas dentro do campo dos desmontes a partir de uma distribuição e geometria adequada nos maciços para colocar as cargas de explosivos e acessórios iniciadores.

Ao observar a criticidade deste equipamento no processo e o aumento das manutenções corretivas, viu-se a necessidade de realizar um estudo com intuito de reduzir a probabilidade de falhas, tendo como referência a NBR 5462, a qual define os termos relacionados a manutenibilidade e confiabilidade, elementos importantes para a formulação da base conceitual e da análise de falhas. De acordo com Fogliatto, o conhecimento formal resultante de uma análise de falhas busca a minimização de sua ocorrência.

A análise foi aplicada no motor a diesel C27 das perfuratrizes Caterpillar MD 6290. Para interpretar e observar a densidade de falhas, tornou-se necessário a subdivisão dos sistemas funcionais do motor. O objetivo deste trabalho é levantar a função probabilidade de falha e confiabilidade da frota de perfuratrizes para qualificar através do levantamento de dados a gestão da manutenção.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1. Distribuição Weibull

Um dos primeiros e mais importantes estudos de confiabilidade foi desenvolvido por Weibull o qual mostrou-se bastante adequado para análise de falhas em equipamentos. Devido a isto se procurou utilizá-lo neste estudo. De acordo com Kardec, a análise de Weibull é um método estatístico que correlaciona dados específicos de falha com uma distribuição particular, podendo indicar se a falha é um evento prematuro, randômico ou ocasionada por desgaste. Para isso, utiliza-se das funções Probabilidade de falha (Equação 1) e Confiabilidade (Equação 2).

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \quad (1)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \quad (2)$$

Onde:

t: Tempo previsto de operação

α : Vida característica

β : Fator de forma

Tempo até a falha (TTF):

Fogliatto considera tempo até a falha (TTF) como o tempo transcorrido desde o momento que a unidade é colocada em operação até a sua primeira falha.

Vida característica (α):

De acordo com Kardec, a vida característica (parâmetro de escala) representa o tempo ou número de ciclos transcorridos desde o início da operação, em que a unidade tem maior chance de falhar. Esse parâmetro é obtido considerando um valor de Probabilidade de falhas de 63%.

Fator de forma (β):

O fator ou parâmetro de forma é o indicador que determina o comportamento da taxa de falha, se está crescente, constante ou decrescente. Através da curva da banheira (Figura 1) entendemos esses comportamentos.

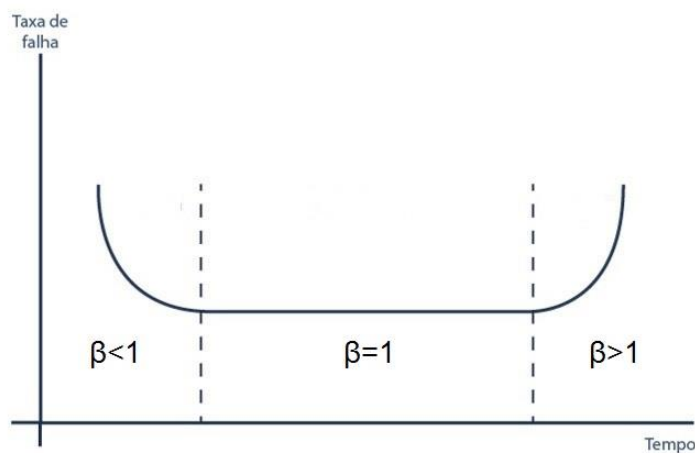


Figura 1: Curva da banheira

Na primeira região da curva, a taxa de falha é decrescente ($\beta < 1$), é o comportamento chamado mortalidade infantil, ou seja, as falhas estão ocorrendo no início do funcionamento.

Na segunda região da curva, a taxa de falha é constante ($\beta = 1$), demonstra que as falhas ocorrem de forma aleatória.

Na terceira região da curva, a taxa de falha é crescente ($\beta > 1$), é o comportamento mais comum, indica que o componente analisado está sofrendo falha por desgaste.

2.2. Aquisição e disposição dos dados

Para este estudo, foi analisado o histórico de manutenção da frota de perfuratrizes giratórias Caterpillar MD6290. Tais equipamentos estão sendo utilizados por uma empresa do ramo de mineração atuando no Quadrilátero Ferrífero (MG). Foram totalizadas 43 falhas registradas no histórico de manutenção no período de janeiro de 2016 a abril de 2017, sendo estes dados utilizadas na alimentação na planilha utilizada para cálculo da confiabilidade.

2.3. Implementação no software

Para a aplicação da ferramenta de Weibull, foi necessário primeiramente analisar se os dados obtidos dos tempos das falhas, ou seja, se a densidade de falhas é compatível com a distribuição de Weibull. Logo foi realizado a transformada da função de Weibull original em uma função da reta de acordo com a manipulação matemática da Eq.1 a seguir:

$$1 - F(t) = - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \quad (3)$$

$$\ln(1 - F(t)) = -\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta \quad (4)$$

$$\ln\left(\frac{1}{1 - F(t)}\right) = \left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta \quad (5)$$

$$\ln\left[\ln\left(\frac{1}{1 - F(t)}\right)\right] = \beta \ln\left(\frac{t}{\alpha}\right) \quad (6)$$

$$\ln\left[\ln\left(\frac{1}{1 - F(t)}\right)\right] = \beta \ln(t) - \beta \ln(\alpha) \quad (7)$$

Sendo a equação da reta denominada por $Y = mX + b$, podemos comparar a equação deduzida acima com uma função de reta onde o lado esquerdo corresponde a Y, o termo $\ln(t)$ corresponde a X, o fator de forma (β) corresponde a m e $-\beta \ln(\alpha)$ corresponde a b. Sendo β o valor de m, conclui-se que tal valor corresponde a inclinação da reta e que possui um valor constante, o parâmetro α pode ser calculado da seguinte forma:

$$\alpha = e^{-\left(\frac{b}{\beta}\right)} \quad (8)$$

Para modelagem da função da reta, foi feita uma planilha no Microsoft Excel (Figura 2). Os valores de tempo de cada ocorrência foram inseridos na coluna B, estes valores foram dispostos em ordem crescente para aplicação do mesmo na função. Na coluna C foram inseridos os valores ordinários de cada amostra. Na coluna D foi inserida a função de densidade de falha $F(t)$ que na planilha foi representada por $((j - 0,3)/(n + 0,4))$ onde n é número de amostras e j é número da ordem (sequência) representado pela coluna C. Na coluna E foi realizado o cálculo da função de risco e foi calculada por $1/(1 - F(t))$. Na coluna F foi realizado o $\ln(E)$ e por último a G que representa $\ln(B)$ onde B equivale a número de ciclos.

	B	C	D	E	F	G
3	TTF	Rank	Median Rank	$1/(1 - \text{Median Rank})$	$\ln(\ln(1/(1 - \text{Median Rank})))$	$\ln(\text{TTF})$
4	0,05	1	0,016129032	1,016393443	-4,119015141	-2,99573
5	1,2	2	0,039170507	1,040767386	-3,219918561	0,182322
6	2,5	3	0,062211982	1,066339066	-2,745263891	0,916291
7	3,5	4	0,085253456	1,093198992	-2,417903318	1,252763
8	4,5	5	0,108294931	1,121447028	-2,166134356	1,504077
9	4,7	6	0,131336406	1,151193634	-1,960419476	1,547563
10	6	7	0,15437788	1,182561308	-1,785681859	1,791759
11	9	8	0,177419355	1,215686275	-1,633173627	2,197225
12	9,6	9	0,200460829	1,250720461	-1,497361108	2,261763
13	11,1	10	0,223502304	1,287833828	-1,374517566	2,406945
14	11,5	11	0,246543779	1,327217125	-1,262010323	2,442347

Figura 2: Modelagem da função de reta pelo Excel

Os valores da coluna F e G representam X e Y respectivamente. Ao plotar as colunas em uma regressão linear simples foi possível analisar que o comportamento dos valores se assemelhou a função da reta, assim os dados obtidos podem ser aplicados em uma distribuição de Weibull. Na planilha de cálculo regressão linear simples são obtidos os parâmetros α e β . A Figura 3 ilustra a plotagem da reta obtida na regressão linear.

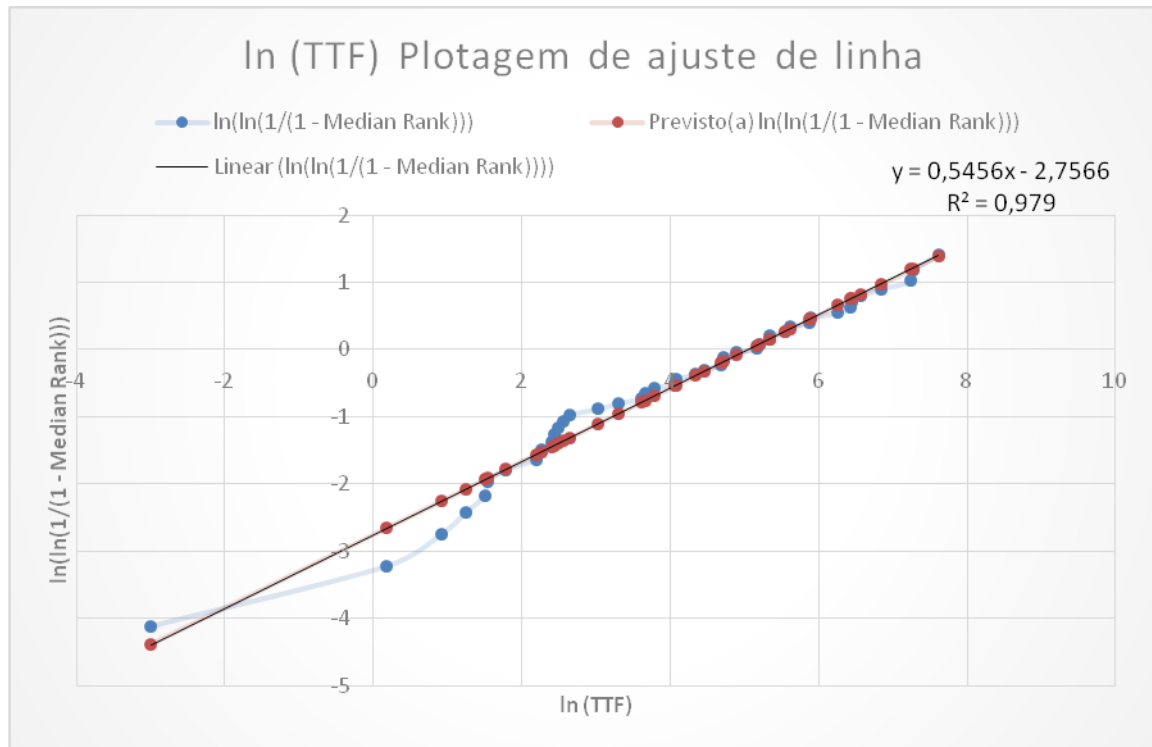


Figura 3: Plotagem da função da reta

Sendo estes dados aplicáveis a distribuição de Weibull, podemos utilizar a equação de densidade de falha de tal distribuição, subtraindo o resultado de 1 se encontra a função confiabilidade. Deste modo foi confeccionada outra planilha com tais valores, assim foram obtidos os gráficos de densidade de falha.

De acordo com a NBR 5462, a confiabilidade é um dos aspectos analisados para a determinação da disponibilidade que 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.

2.4. Disponibilidade Inerente

Segundo Elsayed, disponibilidade inerente é aquele que considera apenas a manutenção corretiva da frota e exclui o tempo de planejamento do reparo e logística, este indicador permite a gerência de manutenção otimizar seus processos em paradas não programadas, a equação deste indicador é dada pela Equação 9.

$$Ai = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (9)$$

Onde:

MTBF: Tempo médio entre falhas

MTTR: Tempo médio para reparo

Ai: Disponibilidade

3. RESULTADOS

A vida característica da frota, apresentou um valor de 156,32 horas. Quanto ao fator de forma, o valor obtido foi de 0,5456, o que caracteriza uma taxa de falha decrescente correspondente à primeira região da curva da banheira.

A Figura 4 representa a função confiabilidade dos motores da frota de perfuratrizes, obtida a partir da metodologia de Weibull.

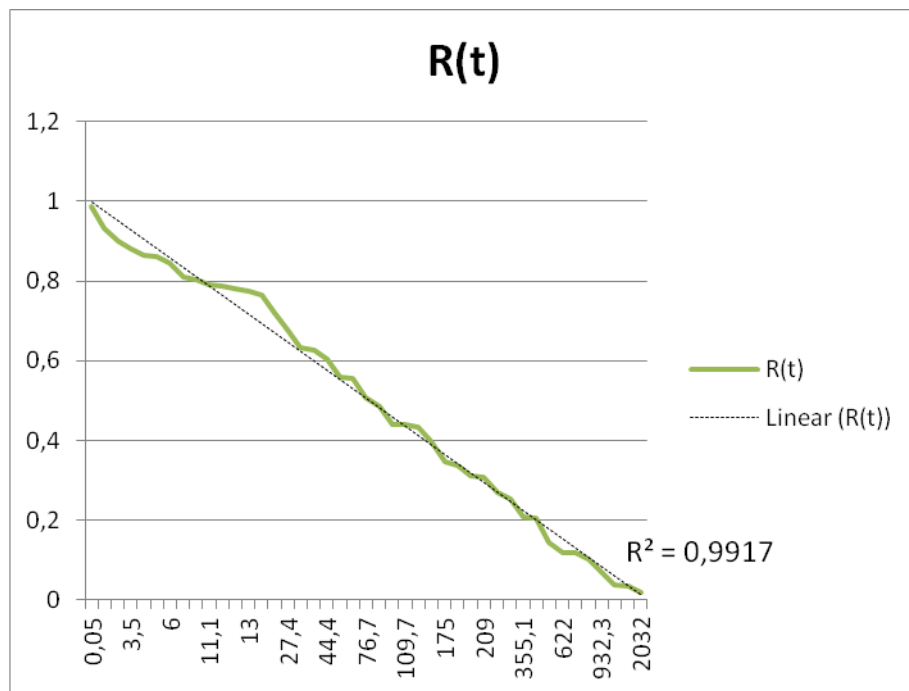


Figura 4: Função Confiabilidade

Apesar dos motores estarem falhando prematuramente, a disponibilidade inerente da frota alcançou o valor de 97,38%, o que já é considerado como disponibilidade de classe mundial, o que demonstra uma relação consideravelmente boa entre os indicadores primordiais para uma gestão de manutenção sendo o Tempo Médio Entre Falhas (MTBF) de 268,87 horas e o Tempo Médio Para Reparo (MTTR) de 7,244 horas.

4. CONCLUSÃO

A função de distribuição Weibull mostrou-se eficaz para representar a confiabilidade e a densidade de falhas dos motores da frota de perfuratrizes.

O fator de forma obtido, representa uma taxa de falha decrescente, esta resposta indica que os componentes tendem a falhar antes do tempo estimado pelo fabricante, mesmo obtendo uma disponibilidade física de 97,38%, que é considerada disponibilidade de classe mundial. Os principais sistemas funcionais dos motores que afetaram diretamente o fator de forma foram os sistemas elétrico e de combustíveis.

Foram sugeridas algumas hipóteses a respeito das causas dos sistemas apresentarem falhas prematuras, como a falta de instrução dos operadores e adaptação do projeto em um local geográfico diferente do projeto original, o qual fora elaborado para mineração em países do hemisfério norte; Como exemplo o Canadá, onde segundo a Confederação Nacional do transporte (CNT), o diesel possui teores de particulados de enxofre de no máximo 15mg/Kg. Desta forma o sistema de alimentação possui um sistema de filtragem dimensionado para esses particulados. Ao migrar o projeto para o Brasil, onde o diesel concentra teores de particulados de enxofre de no máximo 50mg/Kg, o sistema de filtragem se tornou ineficiente e assim acarretou problemas no sistema diesel de forma considerada.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pelo Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Congonhas

6. REFERÊNCIAS

- NBR 5462, 1994, “Confiabilidade e manutenibilidade”, Rio de Janeiro, ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- Fogliatto, F.S., 2009, “Confiabilidade e manutenção industrial”, Ed. Elsevier, Rio de Janeiro, Brasil.
- Pinto, A.K., 2001, “Manutenção: função estratégica”, Ed. Qualitymark, Rio de Janeiro, Brasil.
- Elsayed, E.A., 1996, “Reliability Engineering”, Ed. Prentice-Hall, Nova York, EUA.
- Confederação Nacional do transporte, CNT, 2012, “Os impactos da má qualidade do óleo diesel brasileiro”, Brasília, Brasil.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

RELIABILITY APPLIED TO DIESEL ENGINES OF ROTARY DRILLS

Guilherme de Souza Paiva, guilherme.paivasouza@hotmail.com¹

Marco Antônio Sabará, marco.sabara@ifmg.edu.br¹

Ailanderson José Magalhães Gurgel, ailandersonjmg@hotmail.com¹

Lucas Adriel Elias Ferreira, lucasadriel@outlook.com¹

Otávio Apolinário dos Anjos, otavio_anjo@hotmail.com¹

Wiliam Nascimento Silva, wiliansorin08@hotmail.com¹

¹Instituto Federal de Minas Gerais - Campus Congonhas, Av. Michel Pereira de Souza, 3007 - Campinho, Congonhas - MG, 36415-000

Abstract. Drills are large equipment used in the mining industry. They act in the front of mining allowing the removal of the ore through the opening of the rock to house the loads of explosives used in the clearing, thus obtaining the raw material of the mining. Because it is a primary equipment of great importance in the exploration of ore, which is subject to great efforts and attrition in its operation, it is fundamental to examine its history of failures so that the maintenance management takes place in the most assertive way possible. The concepts of maintainability and reliability present in the standard NBR 5462, can be worked in a statistical way based on the distribution of Weibull, so that these equipment can have high availability. In the present work, a fault analysis was applied to the diesel engines of a Caterpillar MD 6290 drilling fleet. With the data, it was possible to implement the reliability study of the engines, collaborating in a significant way for a better understanding of the equipment behavior. Several parameters were obtained, such as: failure density, repair time, mean time between failures, physical availability, the last three indicators being cited as being of great importance in the elaboration and control of fleet maintenance management.

Keywords: Reliability, Weibull, Diesel Engines, Maintenance Engineering