

ESTUDO DE CONFIABILIDADE DESENVOLVIDO PARA PÁ-CARREGADEIRA L-1400

Leonardo Dias da Silva Mendes

Companhia Vale do Rio Doce, Rua Grajaú 63 núcleo dos Carajás Parauapebas/PA
CEP:68516-000

Leonardo.Mendes@cverd.com.br

Cidicley Campos Sousa

Companhia Vale do Rio Doce, Rua Grajaú 63 núcleo dos Carajás Parauapebas/PA
CEP:68516-000

Cidicley.sousa@cverd.com.br

Resumo. No processo de mineração são necessárias: perfuratrizes, escavadeiras e caminhões para a locomoção até a 1ª fase de beneficiamento que é a britagem. Também possuímos duas pá-carregadeiras auxiliares a L-1400 e a 994D, que devem ser usados para a estocagem, transferências de minério e possíveis emergências.

Estas pá-carregadeiras são de vital importância para o processo, precisamos para isto que estas máquinas funcionem com uma certa confiabilidade para que atendam a demanda que precisamos. Por isto foi feito o estudo de confiabilidade para a L-1400, como se segue.

Palavras chaves: Pá-carregadeira, Confiabilidade, Falha

1 – INTRODUÇÃO

A engenharia de confiabilidade fornece ferramentas teóricas que permitem projetar e efetivar a capacidade que componentes ou sistemas desempenharão sua função, por períodos determinados de tempo, em ambientes específicos e sem apresentarem falhas.

Para a empresa ser bem sucedida no ambiente atual, de alta competitividade e complexidade tecnológica, é essencial que conheça a confiabilidade de seu produto e que seja capaz de controlá-la. Somente um nível ótimo de confiabilidade levará a um gasto mínimo no ciclo de vida do produto e a um custo mínimo de produção, sem que se comprometa a confiabilidade e a qualidade deste.

Não se deve esquecer que para confiabilidade ter sucesso na empresa todos devem estar comprometidos, pois o trabalho começa desde a coleta de dados até o resultado do estudo propriamente dito.

No futuro restarão apenas aquelas empresas capazes de controlar a confiabilidade de seus produtos.

Para se realizar um estudo de Confiabilidade de um determinado equipamento são necessários certos conhecimentos estatísticos que determinam o comportamento do produto ao decorrer de sua vida.

2 - A FUNÇÃO CONFIABILIDADE

A função confiabilidade pode ser obtida utilizando-se a definição da função distribuição acumulada. A probabilidade do evento ocorrer no tempo t , baseado na $f(t)$, é dado pela Eq. 1

$$F(t) = \int_{0,t} f(s) ds, \quad (1)$$

ou seja, poderíamos equiparar este evento à probabilidade de falha do item no tempo t .

Partindo deste fato, pode ser obtida a função mais comumente utilizada em engenharia da confiabilidade; isto é, a função confiabilidade, a qual permite a determinação da probabilidade de sobrevivência do item dado um tempo, t .

Para mostrar isto matematicamente, primeiramente definimos a função desconfiabilidade, $Q(t)$, a qual é uma probabilidade de falha, ou a probabilidade de que a falha esteja no intervalo entre 0 (ou ?) e t como mostra a Eq. 2.

$$F(t) = Q(t) = \int_{0,t} f(s)ds. \quad (2)$$

Note agora que a probabilidade do item falhar no tempo t e a probabilidade do item sobreviver passado o tempo t deve somar 1.

Confiabilidade e desconfiabilidade são probabilidades de sucesso e falha e só devem ser considerados estes dois eventos, pois eles são mutuamente exclusivos e complementares, portanto a soma de suas probabilidades é igual a 1. Veja nas Eqs. 3 e 4

$$\begin{aligned} Q(t) + R(t) &= 1, \\ R(t) &= 1 - Q(t), \\ R(t) &= 1 - \int_{0,t} f(s)ds, \\ R(t) &= \int_t^{\infty} f(s)ds. \end{aligned} \quad (3)$$

Invertendo,

$$f(t) = -\frac{d(R(t))}{dt}. \quad (4)$$

3 - DISTRIBUIÇÕES

Existem diferentes distribuições, tais como normal, exponencial etc., e cada uma delas tem o $f(t)$ pré definido (e podem ser encontradas na maioria dos livros e referências estatísticas).

Estas distribuições foram formuladas por estatísticos, matemáticos e engenheiros para modelar matematicamente ou representar um certo comportamento. Por exemplo, a distribuição Weibull foi formulada por Walloddi Weibull.

Muitas das distribuições que tendem a melhor representar os dados de vida são comumente chamadas de **distribuições de vida**.

3.1 - As Distribuições Mais Utilizadas

3.1.1 - Distribuição Weibull

- A distribuição Weibull é uma distribuição proposta para análise de confiabilidade.
 - Ela é uma distribuição muito flexível, e por esta razão, amplamente utilizada.
 - Ela pode ter diferentes formatos, e conseqüentemente se aproximar das outras distribuições.
- Na maioria dos casos , a distribuição Weibull é definida como mostra a Eq. 5

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}. \quad (5)$$

3.1.2 - Distribuição Exponencial

A distribuição exponencial é a mais comumente utilizada para componentes ou sistemas que apresentam uma taxa de falha constante, e é definida na maioria dos casos como mostra a Eq. 6

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}. \quad (6)$$

3.1.3 - Distribuição Lognormal

A distribuição lognormal é comumente utilizada na análise de confiabilidade em ciclos até a falha por fadiga, resistências de materiais, e no projeto probabilístico com cargas variáveis.

Quando o logarítmo natural dos tempos até a falha são normalmente distribuídos, então dizemos que os dados seguem uma distribuição lognormal.

A distribuição lognormal é dada pela Eq. 7

$$f(T) = \frac{1}{T\sigma_T\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{T-T}{\sigma_T}\right)^2}, \quad (7)$$

Enquanto a distribuição normal é simétrica, a distribuição lognormal é assimétrica e deslocada para a esquerda, permitindo uma melhor adequação para a modelagem de dados de vida como podemos ver na Figura 1.

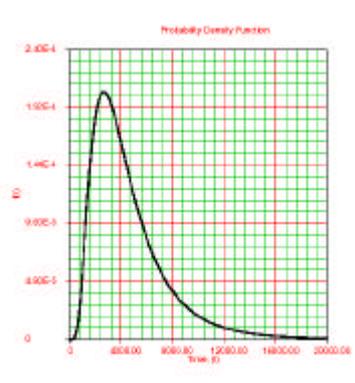


Figura 1. Gráfico da distribuição lognormal

3.1.4 - Distribuição Normal

A distribuição normal é comumente utilizada na análises de confiabilidade, de tempos até a falha de componentes eletrônicos e mecânicos, equipamentos ou sistemas.

A distribuição normal é dada pela Eq. 8 e Figura 2

$$f(T) = \frac{1}{\sigma_T\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{T-T}{\sigma_T}\right)^2}. \quad (8)$$

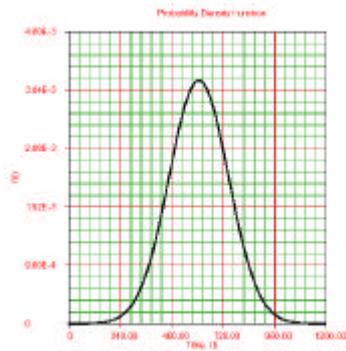


Figura 2. Gráfico da distribuição normal

4 - PROCESSO DE OBTENÇÃO DO COBRE E A IMPORTÂNCIA DO EQUIPAMENTO EM ESTUDO

4.1 - Processo mina

Na mina o processo inicia com o desmonte do material, este que começa com o uso das perfuratrizes realizando a malha de fogo (orifícios para a colocação de explosivos para romper as rochas em suas dimensões corretas), após a explosão entramos com a escavadeira para realizar a escavação deste material (no momento em que se realiza este estudo a pá-carregadeira em questão está sendo utilizada para realizar esta escavação) e posterior alimentação dos caminhões que fará o escoamento deste para a outra fase que é o beneficiamento do minério.

4.2 - Processo usina

Na usina começa com o descarregamento dos caminhões no britador primário iniciando assim com o processo de britagem, passando o minério britado posteriormente pelas fases de moagem, flotação, remoagem, espessamento, filtragem e concentração.

5 - ESTUDO DA CONFIABILIDADE DA PÁ-CARREGADEIRA LE TOURNEAU L-1400

5.1 - Banco de Dados

Logo no início do trabalho viu-se que o banco de dados usado não atenderia a Engenharia de Confiabilidade, pois o banco de dados se encontrava realmente de forma precária, pois não continha todos os dados necessários para um bom estudo, como: Hora de entrada e saída para manutenção do equipamento, horímetro, sistema que falhou, item, etc.

Pela necessidade foi criado um banco de dados em Access. Devo ressaltar a importância desta coleta, pois se esta não for bem feita, a análise está totalmente comprometida. A confiabilidade se inicia desde a coleta e com toda certeza posso dizer que esta é a fase mais importante de todo este processo.



Figura 3. Entrada de dados no sistema

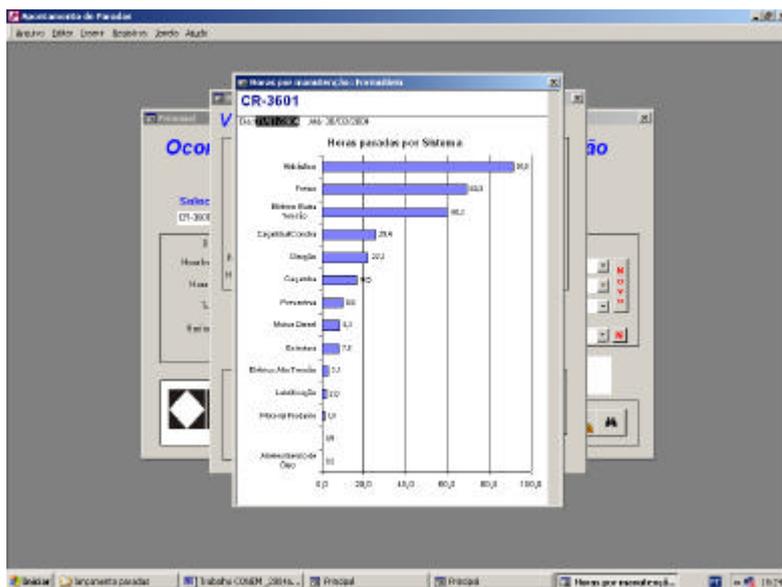


Figura 4. Exemplo 1 de relatório gerado pelo sistema

OS	Equip	Equipamento	Data	Hora	Duração	Horário	Tipo	Hora DES	Causa	Tare	Falt	Obs	
0	CP-3601	Carregadeira Marchon Le Toumeux L1400	1902/2004	15:35	2:55	1739	M	Ti	0	3	Sim	Tat	
0	CP-3601	Carregadeira Marchon Le Toumeux L1400	1902/2004	16:31	0:22	1734	A	Li	5	Não	ba	1	
0	CP-3601	Carregadeira Marchon Le Toumeux L1400	1902/2004	16:16	4:28	1730	C	Ur	3	Acabou	1	Sim	
0	CP-3601	Carregadeira Marchon Le Toumeux L1400	12/02/2004										
0	CP-3601	Carregadeira Marchon Le Toumeux L1400	1902/2004	09:36	6:00	1780	C	Ti			1	Sim	
0	CP-3601	Carregadeira Marchon Le Toumeux L1400	09/02/2004	12:17	3:07	1788	C	Br	S		1	Sim	
0	CP-3601	Carregadeira Marchon Le Toumeux L1400	09/02/2004	17:15	0:52	1788	P				2	Não	
0	CP-3601	Carregadeira Marchon Le Toumeux L1400	09/02/2004	00:00	46:33	1762	B	P	P		3	Sim	
0	CP-3601	Carregadeira Marchon Le Toumeux L1400	09/02/2004	00:00	0:52	1788	H	Ca	N		2	Não	
0	CP-3601	Carregadeira Marchon Le Toumeux L1400	09/02/2004	00:00	23:06	1782	B	P	P		3	Sim	
0	CP-3601	Carregadeira Marchon Le Toumeux L1400	09/02/2004	23:30	0:46	1782	B	P	P		3	Sim	
0	CP-3601	Carregadeira Marchon Le Toumeux L1400	09/02/2004	00:00	8:00	1787	F	S	Inv		3	Sim	
0	CP-3601	Carregadeira Marchon Le Toumeux L1400	09/02/2004	00:00	23:06	1787	F	S	Inv		3	Sim	
0	CP-3601	Carregadeira Marchon Le Toumeux L1400	09/02/2004	00:00	23:06	1787	F	S	Inv		3	Sim	
0	CP-3601	Carregadeira Marchon Le Toumeux L1400	09/02/2004	14:27	9:53	1767	F	S	Inv		1	Sim	
0	CP-3601	Carregadeira Marchon Le Toumeux L1400	09/02/2004	05:01	6:27	1785	E	H	Q		1	Sim	
0	CP-3601	Carregadeira Marchon Le Toumeux L1400	09/02/2004	02:50	0:50	1783	M	Ca	N		3	Não	
0	CP-3601	Carregadeira Marchon Le Toumeux L1400	31/01/2004	10:18	0:45	1782					1		
0	CP-3601	Carregadeira Marchon Le Toumeux L1400	31/01/2004	10:18	0:45	1782	H	Ca	N		1	Não	
0	CP-3601	Carregadeira Marchon Le Toumeux L1400	31/01/2004	16:00	3:25	1798	F	W	O	0	desag	2	Sim
0	CP-3601	Carregadeira Marchon Le Toumeux L1400	27/01/2004	09:30	4:50	1785	C	B	P		1	Não	
0	CP-3601	Carregadeira Marchon Le Toumeux L1400	27/01/2004	09:30	4:50	1785	C	B	S		1	Sim	

Figura 5. Exemplo 2 de relatório gerado pelo sistema

5.2 - Estudo de Confiabilidade para Pá-Carregadeira

Primeiramente foram coletadas informações de falhas desde o mês de outubro na mina. Com auxílio dos software's Blocksim e Weibull ++ realizamos toda modelagem do equipamento e estudo de seus dados de falha.

Começamos o levantamento de dados de outubro em diante, neste trabalho vamos mostrar a análise de outubro à janeiro de 2004

Do histórico obtivemos o MTBF (média dos tempos até falha) e o MTTR (média dos tempos de reparo). Estas informações foram alimentadas no Weibull ++ para realizar todo estudo conforme podemos verificar nas Figuras de 6 à 13.

Time	Falhas	Subst	BT
14	13		
15	15		
16	16		
17	17		
18	17		
19	18		
20	19		
21	21		
22	22		
23	26		
24	30		
25	30		
26	34		
27	35		
28	38		
29	44		
30	79		
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			

Figura 6. Janela do software Weibull ++ para inserção dos dados de entrada

Depois, através de um teste de aderência verificamos qual seria a melhor distribuição que melhor caracterize estes dados.

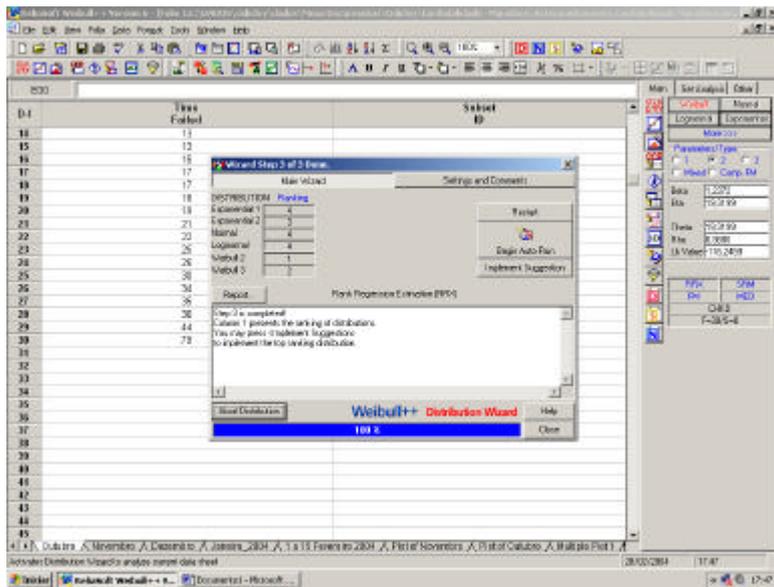


Figura 7. Janela do teste de aderência

Após o teste concluímos que a melhor distribuição (roupa) era a Weibull 2 parâmetros, então fizemos a configuração do software para tal, como mostra a figura acima.

Através do botão de cálculo chegamos à confiabilidade para 24 horas e ao MTBF de outubro, como podemos verificar abaixo.

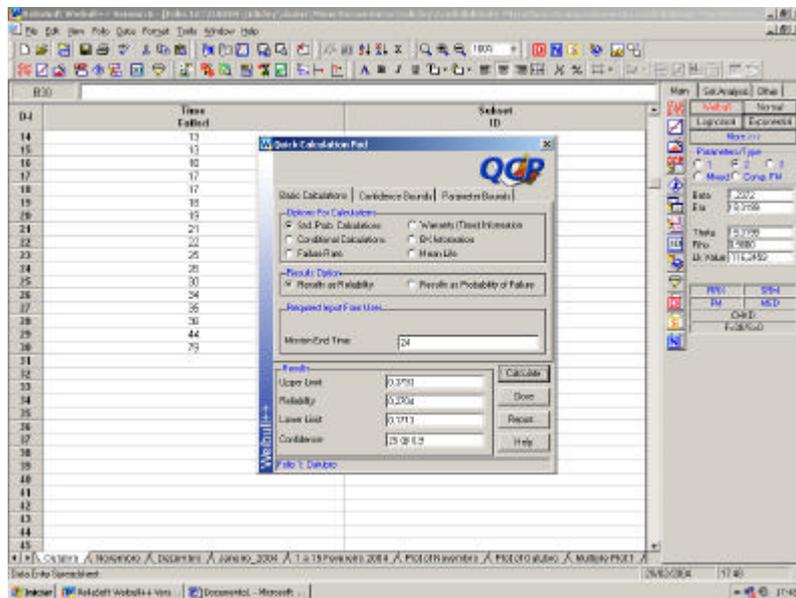


Figura 8. Janela do cálculo de confiabilidade

Resumindo, para o mês de outubro chegamos a uma confiabilidade do equipamento para 24 h de 27,04% com os limites superiores e inferiores 37,93% e 17,13% respectivamente, ou seja, a chance deste equipamento não falhar é esta mostrada pela confiabilidade e pode oscilar entre estes limites também mostrados.

O MTBF também apresentou de uma forma muito ruim, pois estava muito baixo, estava num valor de 18,03, variando de 13,89 à 23,41.

No final plotamos o gráfico de Confiabilidade X Tempo

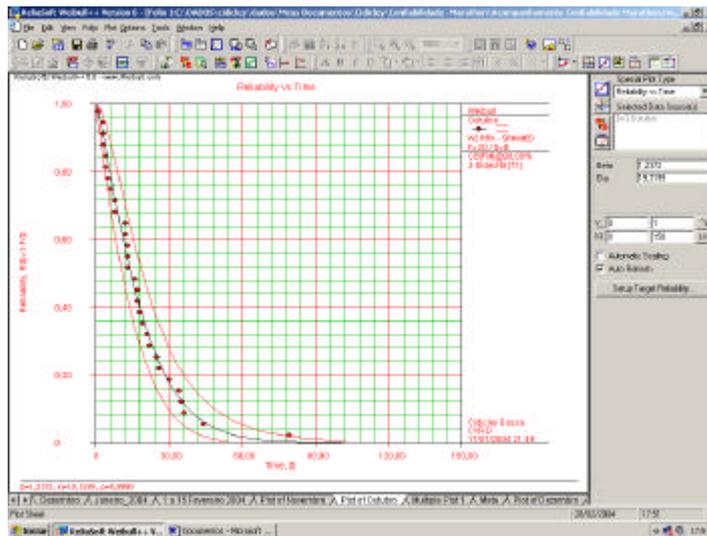


Figura 9. Janela do gráfico Confiabilidade X Tempo

Realizamos esta análise também para os meses de novembro à janeiro e chegamos a estes gráficos e tabelas comparativas.

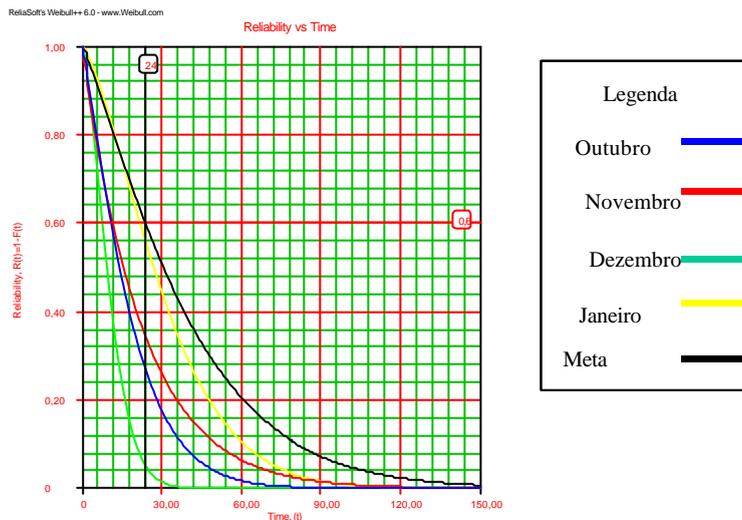


Figura 10. Gráfico comparativo do comportamento da confiabilidades de outubro à janeiro

Tabela 1. Resultados da confiabilidade de outubro à janeiro

Confiabilidade p/ 24 horas				
	Out	Nov	Dez	jan/04
Lim sup 90%	27,74%	35,54%	5,75%	57,50%
Confiabilidade	27,04%	34,48%	5,26%	56,01%
Lim Inf 90%	26,32%	33,43%	4,80%	54,49%
Meta	60,00%	60,00%	60,00%	60,00%

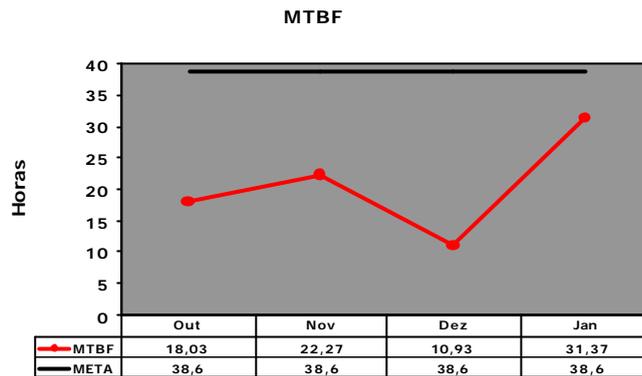


Figura 11. Gráfico e tabela dos resultados do MTBF de outubro à janeiro

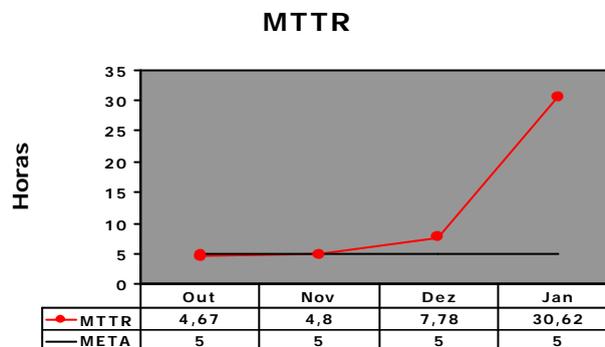


Figura 12. Gráfico e tabela dos resultados do MTTR de outubro à janeiro

O MTTR foi calculado da mesma maneira apresentada para o MTBF no mesmo Software.

Depois fizemos um comparativo com a disponibilidade e com a utilização do equipamento porque apenas a confiabilidade não nos diz nada, pois precisamos saber o tanto que ela ficou disponível e em uso para depois chegarmos às devidas conclusões.

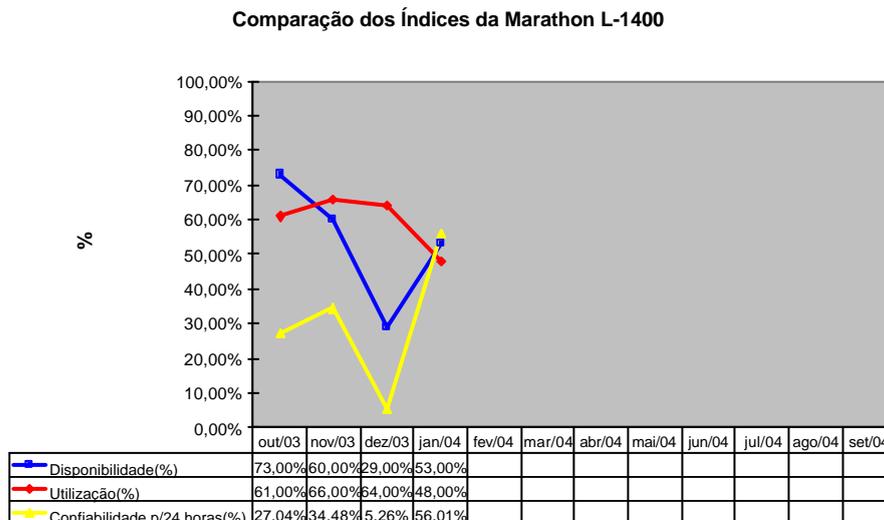


Figura 13. Gráfico e tabela comparativo dos resultados de disponibilidade, utilização e confiabilidade para 24h de outubro à janeiro.

No mês de janeiro houveram 08 falhas no equipamento contra 17 ocorridas no mês de dezembro. Isto resultou no aumento do MTBF (Tempo médio entre falhas) e Confiabilidade, mas não teve um impacto significativo na Disponibilidade devido o MTTR (Tempo médio de reparo) ter sido muito alto, principalmente por uma parada de 05 dias devido uma falha no sistema hidráulico.

Um aumento da disponibilidade também foi consequência de uma menor utilização do equipamento em função da alta pluviometria no mês de janeiro e pela falta de equipamentos de apoio, principalmente tratores de esteiras.

6- CONCLUSÃO

A confiabilidade é uma ciência que não “sobrevive” sozinha, pois é influenciada por vários fatores, todos devem estar realmente envolvidos, desde a coleta de dados (o mais importante) até o objetivo alcançado. Como podemos verificar neste trabalho o MTBF, MTTR, confiabilidade, disponibilidade e utilização são fatores que sempre devem ser analisados juntos.

7 – AGRADECIMENTOS

Agradeço a realização deste trabalho à estas respectivas pessoas listadas abaixo, pois sem eles não seria possível a elaboração deste.

- Altiberto Brandão
- Cidicley Sousa
- Carlos Fagundes
- Moacir Santiago
- Sérgio Oliveira Souza
- Equipe GAEOY

8- REFERÊNCIAS

Reliasoft, Copyright, “Engenharia de confiabilidade”, pp. 1-145.

Front-and-loader L-1400 Realiability Study

Abstract. *In the process of mining are necessary: drills, shovels and off-highway trucks to transport the ore to the crushing, the first phase of the mineral dressing. We also possess two auxiliary front-and-loaders, a Le Tourneau L-1400 and a Caterpillar 994D, that must be used for ore stockage and transference and possible emergencies.*

These front-and-loaders are of vital importance for the process. For that we need these machines function with a certain reliability so they take care of the demand that we need. That's why it was made a study of reliability for the Le Tourneau L-1400, as it follows.

Keywords: Front-and-loader, Reliability, Failure