

# ESTUDO DE CONFIABILIDADE DE MOTORES DIESEL DE CAMINHÕES FORA DE ESTRADA

Adriano Gonçalves dos Santos Ribeiro<sup>1</sup>

Gean Carlo Feliciano de Almeida<sup>1</sup>

## 1 Introdução

Uma grande empresa do ramo de exploração de minério de ferro deseja verificar a confiabilidade dos motores dos caminhões fora de estrada disponíveis em sua frota. Para isso a empresa disponibiliza dos dados de um complexo minerador composto por 4 minas a céu aberto, onde apenas 3 destas minas, que serão classificadas como A, B e C, ocorre operação com caminhões fora de estrada. No complexo minerador tem-se 40 caminhões em operação sendo todos do mesmo modelo, fabricante e capacidade de carga. A empresa adota um regime de substituir os motores a cada 18000 horas de trabalho, tendo este valor referencial obtido a partir dos conhecimentos práticos dos analistas de frota e do histórico de falhas dos motores, esse valor na pratica pode variar um pouco devido a fatores como: disponibilidade de motor reserva, custo, o motor pode quebrar antes das 18000 horas, dentre outros fatores.

Inicialmente neste estudo será utilizado técnicas não-paramétricas, como o estimador de Kaplan-Meier, que permitirão que sejam calculadas algumas característica de interesse como tempo médio e mediano de falhas, além de possibilitar uma comparação introdutória entre as 3 minas onde ocorre a operação dos caminhões. Porém a necessidade de encontrar um modelo paramétrico que melhor se ajusta aos dados se faz necessário para obter estimativas mais eficientes que as do modelo não paramétrico, promovendo um ganho significativo nas análises e uma maior precisão.

Assim, as estimativas encontradas neste estudo podem servir de uma poderosa ferramenta para os gestores e analistas da frota de caminhões fora de estrada que entendendo as características dos motores podem realizar orçamentos anuais mais assertivos, evitarem que motores venham a quebrar no campo o que ocasiona uma substituição não programada dos mesmos proporcionando custo e tempo de serviço mais elevado, além de garantir maior disponibilidade física do equipamento.

---

<sup>1</sup> Alunos- Curso de Bacharelado em Estatística-UFOP

## 2 Material e métodos

Para se realizar a análise, foi tomada uma amostra de 64 motores que foram substituídos nos anos de 2009 a 2014. Sendo que, desses 64 motores 29 tiveram seu regime de operação na mina A, 14 na mina B e 21 na mina C. Como mostra a tabela 1, onde os tempos representados por + mostram onde ocorreram censura.

Tabela 1: Dados coletados de horas trabalhadas dos motores

Mina	Tempos de falhas dos motores (em horas)									
A	14723	21960+	20200+	19065+	14962	14006	17035	12054	20793+	2028
	16316	13553	4212+	11300	14555+	13500	13135	12423	15775+	14100
	17000	24000+	17200	1619	17500	14800	24300+	16500	13900	
B	21924+	20837+	18652+	19600+	15915	12171	18974+	14974	13057+	16800+
	15368+	15400+	18200+	20300+						
C	23836+	21763+	22326+	20255+	17048	815	17801+	6742	3403	2907
	12627	2491+	2585	13001	15000	11849	2831	15304	21100+	12605
	10800									

Com base nos dados, foi utilizado o estimador de Kaplan-Meier para realizar estimativas não paramétricas de confiabilidade, além de verificar se existem diferenças significativas dos tempos de falhas dos motores entre as minas A, B e C.

A escolha do modelo probabilístico foi realizada utilizando a comparação de sua função de sobrevivência com o estimador de Kaplan-Meier. As distribuições paramétricas testadas foram a Exponencial, Weibull e Log-Normal e utilizado o estimador de máxima verossimilhança para estimar os parâmetros dos modelos descritos.

Para verificar a adequação do modelo foi realizado um teste de razão de verossimilhança ao nível de 5% de significância.

Todas as análises estatísticas foram realizadas através do software R.

## 3 Resultado e discussões

Através das estimativas obtidas pelo estimador de Kaplan-Meier, podemos verificar que o tempo em que 50% dos motores não falharam (mediana) é de 13526,5 horas. A esperança é de 14066.45 horas e a probabilidade de um motor operar 18000 horas sem falhar é de aproximadamente 40%.

Na figura 1, temos a forma gráfica do estimador de Kaplan-Meier e seus respectivos intervalos de 95% de confiança.

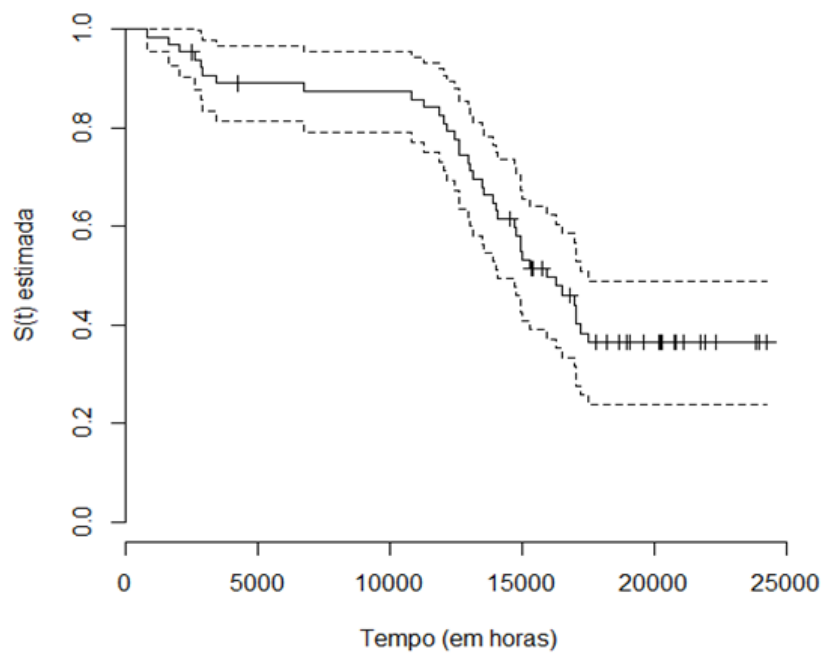


Figura 1: Função de confiabilidade e respectivos intervalos de 95% de confiança estimados a partir do estimador de Kaplan-Meier.

Na figura 2, temos as curvas de confiabilidade estimadas pelo estimador de Kaplan-Meier mostrada para as três minas cujos motores tiveram seu regime de operação.

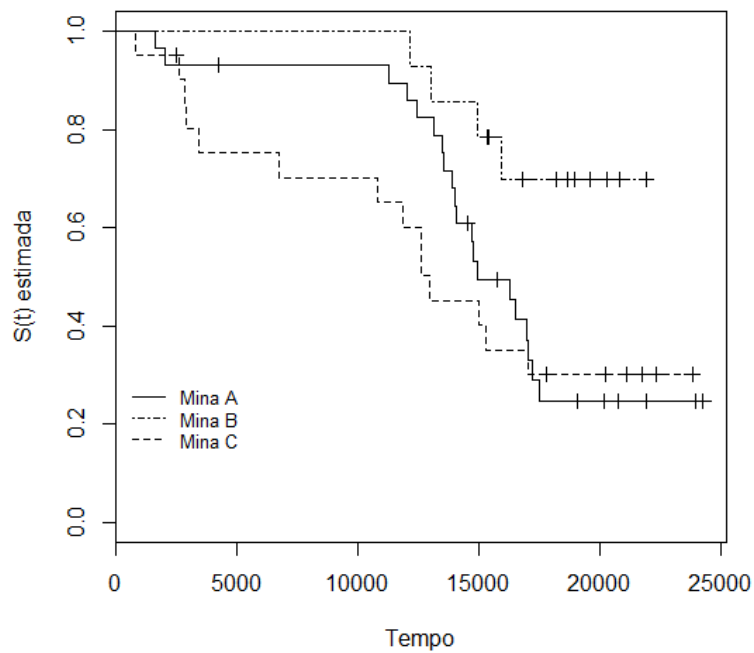


Figura 2: Função de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier para os dados de horas trabalhadas de motores de caminhões fora de estrada estratificado por mina.

A estatística de teste logrank que, sob hipótese de igualdade, tem uma distribuição qui-quadrado com dois graus de liberdade, mostrada na tabela 2, indica que o tempo de falha dos motores que tiveram seu regime de operação na mina B difere significativamente dos motores que operaram nas minas A e C.

Tabela 2: Resultado dos Testes de logrank utilizados para as comparações das minas A,B e C, realizados dois a dois

Minas comparadas	Estatística de Teste	Valor p
AxB	5,40	0,02
AxC	0,30	0,61
BxC	6,10	0,01

Realizando o ajuste dos modelos paramétricos: Exponencial, Weibull e Log-Normal, temos respectivamente as suas funções de confiabilidade expressa abaixo, onde os valores apresentados em cada função são as estimativas de máxima verossimilhança dos parâmetros.

$$\begin{aligned}
 S(t)_e &= \exp\{-t/24520,39\} \\
 S(t)_w &= \exp\{(t/20907,13)^{1,74}\} \\
 S(t)_{ln} &= \Phi[-(\log(t)-9,75)/0,99]
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Para a escolha do modelo paramétrico que se ajusta melhor aos dados foram construídos os gráficos de estimativa de confiabilidade obtidos pelo estimador de Kaplan-Meier versus as estimativas de confiabilidade obtidas a partir dos modelos: Exponencial, Weibull e Log-Normal. Como mostra a figura 3.

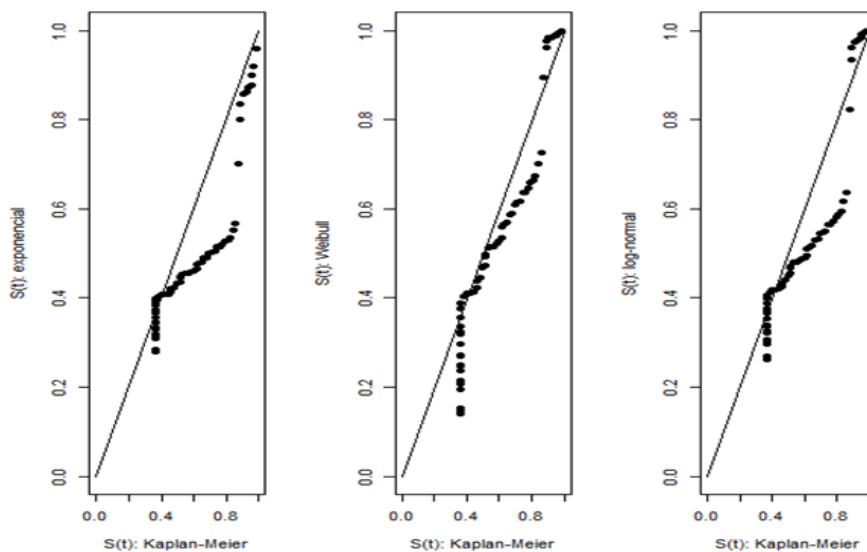


Figura 3: Gráficos da função de confiabilidade estimada por Kaplan-Meier versus as funções de confiabilidade estimadas pelos modelos: Exponencial, Weibull e Log-Normal.

Como o modelo Weibull acompanha mais de perto a reta  $y = x$ , possivelmente este modelo é mais adequado, fato este pode ser verificado através de um teste de razão de verossimilhança para as hipóteses nula de que o modelo se ajusta bem aos dados versus a hipótese alternativa de que o modelo não se ajusta bem aos dados. Os resultados podem ser verificados na tabela 3, abaixo.

Tabela 3: Logaritmo da função  $L(\Theta)$  e resultados dos TRV

Modelo	Log (L( $\Theta$ ))	TRV	Valor p
Gama Generalizada	-415,69	-	-
Exponencial	-422,07	12,76	0,00
Weibull	-416,32	1255,00	0,26
Log-Normal	-420,88	10375,00	0,00

#### 4 Conclusões:

Através das análises descritas ao longo deste trabalho pode-se verificar que o modelo paramétrico que melhor se ajustou aos dados é Weibull. Através desse modelo foi possível realizar algumas estimativas importantes como: o tempo em que 50% dos motores não falharam é de 15200 horas, a esperança é de 18625 horas, a probabilidade de um motor ter uma vida útil de 21000 horas sem falhar é de aproximadamente 25%. O fato das análises através do estimador de Kaplan-Meier ter apontado que existe uma diferença significativa entre o tempo de falhas dos motores que tiveram seu regime de operação na mina B quando comparados aos das minas A e C, pode ser justificado pela condição de pista que exige um maior esforço dos caminhões ou ainda um fator ligado a operação do equipamento.

Desta forma, os resultados encontrados que foram resumidamente apresentados serviram para a empresa em questão traçar e conhecer melhor o perfil dos motores dos caminhões fora de estrada de sua frota.

#### 5 Bibliografia:

- [1] COLOSIMO, A. E.; GIOLO, R. S. **Análise de Sobrevivência Aplicada**. ABE- Projeto Ficher: Editora Edgard.Blucher 2006 p.29-112
- [2] BARBOSA, L.A; OLIVEIRA, P.L.F. **Modelagem e Escolha Entre Embalagens Usando Técnicas de Confiabilidade e Analise de Sobrevivência**. Revista de estatística da UFOP, vol. I, p. 49-58, 2011.