FGV TRANSPORTES

# OS IMPACTOS DA CONFIABILIDADE PARA O TRANSPORTE:

## UMA APLICAÇÃO PARA A FASE DA TAXA DE FALHAS CONSTANTE

*Juan Soriano*

*Marcelo Sucena*

De acordo com o dicionário Michaelis, a Manutenção é o ato de manter-se, conservar ou de fazer durar algo em bom estado. Slack *et al.* (2002) a define como a forma na qual as organizações tentam evitar as falhas. Em uma visão mais generalizada, a manutenção é tida como o reparo ou a substituição de partes que não atendem mais o seu uso esperado. Porém, o que se percebe quando se considera o aumento pela eficiência nos transportes é a constante busca por aumento da disponibilidade dos ativos com redução de custos gerais. Nesse contexto, a busca pelo aumento da disponibilidade vinculada à mitigação de impactos ambientais e a maximização da segurança durante a movimentação, convergiu para o aperfeiçoamento da confiabilidade com forte vínculo com a elaboração de estratégias de manutenção, ampliando significativamente o significado do termo.

Por intermédio da relação entre confiabilidade e mantenabilidade é possível admitir que o objetivo principal de um operador de um sistema de transportes é de aumentar a disponibilidade dos seus ativos. Entretanto, o que se percebe que tal foco atua como disseminador da mudança cultural do "reagir" após uma falha, por intermédio da manutenção corretiva, para o "planejar", em que há a proatividade buscando-se aumentar a disponibilidade, mas também reduzindo os custos variáveis quanto à equivalente redução de combustíveis, redução de emissão de poluentes na atmosfera, ampliação da produtividade pela redução de quebras durante o transporte, aumento da vida útil dos ativos, aumento da confiança do cliente pela redução da variabilidade no tempo de

entrega, aumento do conforto no transporte público, aperfeiçoamento da segurança de cargas e passageiros durante a movimentação, entre outros aspectos.

Branco Filho (2004) apresenta dois termos fundamentais que impactam na análise da operação dos ativos de transporte quanto aos seus componentes: “defeito”, que é o estado em que item(ns) apresenta(m) a condição anormal de uso, mas ainda está disponível para uso, apesar da possível operação degradada; e falha, que é o estado em que algum item torna-se indisponível, interferindo drasticamente na operação, podendo gerar a sua interrupção.

Quanto aos tipos de manutenção, Paschoal *et al.* (2009) apresentam as seguintes estratégias para a manutenção:

- Corretiva: quando a manutenção é realizada após a falha, que tem como efeito a retirada do item em tempos aleatórios, levando à diminuição da vida útil do ativo;

- Preventiva: é realizada para prevenção de defeitos e falhas, possibilitando a redução do risco de anomalias e maior previsibilidade quanto à disponibilidade do ativo;

- Preditiva: similar à manutenção preventiva, é realizada com base na avaliação da condição do item, utilizando métricas definidas para identificar a probabilidade de algum item impactar negativamente na operação. Pode-se atuar também por meio de análise estatística das falhas;

- Detectiva: é diferenciada da manutenção preditiva pelo nível de automação, pois nesta o equipamento realiza uma autodetecção da condição operacional que pode estar oculta à equipe de manutenção;

Isso posto, observando-se a NBR-5462 no que tange à análise estocástica da falha, principalmente quanto ao seu desenvolvimento no tempo, pode-se identificar o conceito de taxa de falha, que é o limite, se existir, da razão da probabilidade condicional que a falha de um item ocorra em um dado intervalo temporal, visto que o item estava disponível no instante *t*. Dessa forma, ao se plotar a curva do desenvolvimento temporal das falhas, deve-se chegar a algo parecido com uma “banheira”, como na figura 1 a seguir.

Figura 1: curva da banheira

Ao longo do tempo, a taxa de falhas de um sistema tem um comportamento diferenciado, relacionado com a sua vida. Isso ocorre devido ao estado de maturação dos seus itens, que passa por três fases explícitas: mortalidade infantil, maturidade e mortalidade senil (Selitto, 2005). Na fase de mortalidade infantil, que é o início da vida útil, o sistema apresenta taxa de falhas elevada, porém decrescente. Isso ocorre devido às questões de projeto, de peças, de mão de obra, entre outros, que são gradualmente eliminados e corrigidos conforme a familiaridade com o sistema aumenta e, consequentemente, a experiência no manejo. A fase seguinte, a maturidade, é a qual se caracteriza pela taxa de falhas praticamente constante, e na qual as falhas ocorrem de maneira aleatória. Nesse momento, a partir dos dados acumulados, é possível construir um modelo estatístico de previsão dos eventos anômalos e formar um plano de manutenção preditiva, de forma a prolongar a vida útil do sistema. A última fase, a mortalidade senil, é caracterizada por um desgaste maior dos componentes, de forma a elevar novamente a taxa de falhas até atingir o fim do seu período de uso.

Dias (2009) aponta que a confiabilidade *C(x)* pode ser representada por intermédio da expressão matemática adiante na qual *f(x)* representa uma função da densidade de probabilidade da falha, sendo a mais comumente utilizada a de Weibull. Shahriari *et al.* (2023) reforçam o papel da distribuição de Weibull como uma distribuição reconhecida na análise de tempo de vida útil de sistemas e seu amplo uso na indústria.

$$C(x) = 1 - \int_0^x f(x)dx$$

Na função densidade, que pode ser composta por dois parâmetros, sendo um deles um fator de escala (alfa) e um fator de forma da curva (beta). Dias (2009) complementa que há relação entre o valor do fator de forma e o padrão da curva da banheira, pois quando $\beta < 1$ tem-se que a taxa de falhas instantânea está reduzindo, o que ocorre no período de maturidade inicial do ativo. Já com $\beta = 1$, a taxa de falhas é constante e corresponde ao período de vida útil, ao passo em que o aumento da taxa de falhas significa que o item já passou para a fase de desgaste.

Na fase intermediária encontra-se a maturidade, em que a taxa de falhas está praticamente constante. Nesta fase a confiabilidade e a mantenabilidade podem ser verificadas pelos seguintes indicadores de classe mundial:

- TMEF – tempo médio entre falhas, que se refere à esperança matemática do tempo entre as falhas de itens reparáveis;

- TMPF – tempo médio para falhar, considerado a esperança matemática do tempo até a falha de um item não reparável;

- TMPR – tempo médio para reparo, que representa a esperança matemática do tempo entre as falhas de itens reparáveis.

A figura 2 adiante apresenta graficamente as composições de tempo entre TMEF, TMPR e TMPF.

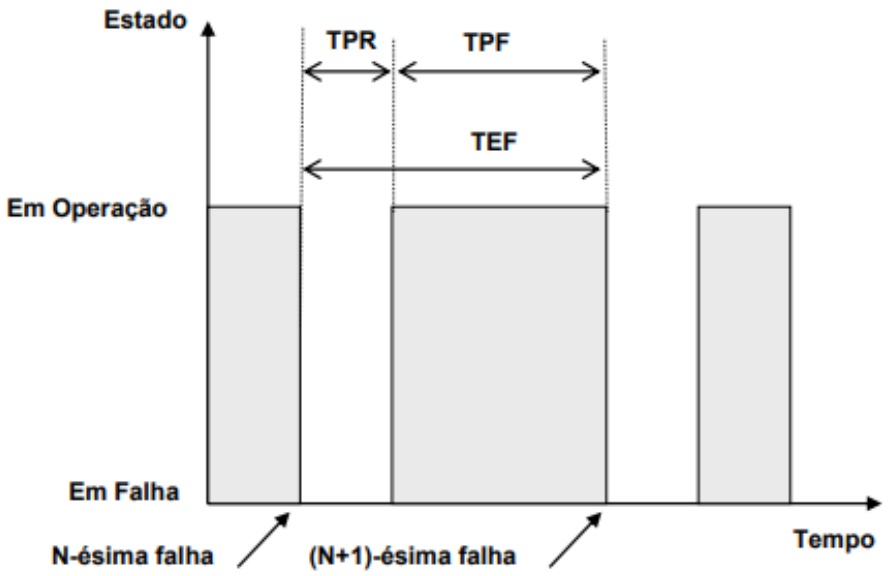


Figura 2: gráfico dos estados de falha e operação

Para exemplificar as aplicações das três medidas anteriores, observa-se o trabalho de Komninakis *et al.* (2018), que utilizaram o tempo médio entre falhas (TMEF ou MTBF – *Mean Time Between Failure* em inglês) e o tempo médio para reparo (TMPR ou MTTR – *Mean Time To Repair* em inglês) para analisarem a disponibilidade e a probabilidade de falha de máquinas de alimentos de uma empresa, conseguindo produzir dados que guiassem a estratégia de manutenção da companhia. Utilizando um software e os registros de manutenção, o obtiveram-se os tempos médios, o desvio padrão, a variância e os valores dos parâmetros de forma e escala referentes a distribuição de Weibull. De posse desses dados é possível estimar a chance de um equipamento falhar após 100 horas de uso, o tempo estimado para metade dos equipamentos falharem. Para o equipamento 4 do estudo, por exemplo, estima-se o fator de forma em 0,57, o que o posiciona no período de vida inicial, pois a taxa de falhas é decrescente. Esses dados ajudam a compor um futuro plano de manutenção mais eficiente e a aumentar futuramente a disponibilidade das máquinas.

Em um sistema complexo, como um sistema de ônibus, formado por inúmeros componentes que podem levar a indisponibilidade do veículo ou a interrupção da operação, traz-se um exemplo hipotético, em que se pode analisar a ocorrência de falhas do mecanismo de abertura das portas de um veículo rodoviário. Uma falha nesse mecanismo coloca o ônibus em um estado de indisponibilidade, devido à impossibilidade de operação eficaz e segura. Construindo uma série histórica de registros da falha desse mecanismo, consegue-se calcular os tempos médios para o reparo, entre as falhas e para falhar. A seguir estão os dados tabelados.

| Data e horário de início da manutenção | Data e horário de final da manutenção |
|---|---|
| 28/09/2023 16:30 | 29/09/2023 06:11 |
| 18/10/2023 19:20 | 19/10/2023 10:45 |
| 08/11/2023 19:20 | 09/11/2023 10:23 |
| 27/11/2023 19:26 | 28/11/2023 11:25 |
| 16/12/2023 17:11 | 17/12/2023 09:33 |
| 10/01/2024 02:29 | 10/01/2024 17:13 |
| 27/01/2024 10:46 | 28/01/2024 00:10 |
| 21/02/2024 20:10 | 22/02/2024 09:59 |
| 16/03/2024 05:04 | 16/03/2024 22:56 |
| 05/04/2024 13:54 | 06/04/2024 03:51 |
| 25/04/2024 01:03 | 25/04/2024 17:20 |
| 14/05/2024 02:09 | 14/05/2024 18:40 |
| 02/06/2024 08:15 | 03/06/2024 00:34 |
| 22/06/2024 02:16 | 22/06/2024 13:26 |
| 10/07/2024 02:37 | 10/07/2024 18:01 |

Tabela 1 – registro de manutenção da porta

Pode-se, dessa forma, considerar o tempo médio para o reparo (TMPR) como a média dos tempos entre o início e o fim da manutenção em cada ocorrência; o tempo médio entre falhas (TMEF), como a média dos intervalos entre o início da manutenção atual e o início da manutenção anterior; e o tempo médio para falhar (TMPF), como a média do intervalo de tempo entre o fim da manutenção e o início da próxima. Este último cálculo é apenas para exemplificar, pois não tem sentido para um item reparável de movimento da porta do ônibus. Os resultados são obtidos com os apoios do Microsoft Excel e da ferramenta online "Reliability Analysis Toolkit".

- TMPF: 474,26 horas

- TMPR: 15,16 horas

- TMEF: 489,29 horas

Na ferramenta "Reliability Analysis Toolkit", ao se colocarem os dados de tempo para falhar, utiliza-se a distribuição de Weibull e, dessa forma, retornam os fatores de forma e de escala conforme a seguir:

- Fator de forma (β): 1,44

- Fator de escala (α): 4187,96

Analisando esses resultados, nota-se que esse mecanismo estaria na fase de maturidade senil devido ao valor de seu fator de forma (β> 1). Adicionalmente, pode-se calcular a taxa de falhas conforme a expressão a seguir:

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}:$$

Para o caso hipotético estudado, a taxa de falhas seria 0,002043. Esse valor pode ser utilizado diretamente em muitos outros cálculos, como a probabilidade da falha de um item em um tempo *t* dado pela seguinte expressão:

$$R(t) = e^{-\lambda . t} . 100$$

Em um tempo t = 336 h equivalente a 14 dias (o tempo *t* deve sempre estar na mesma unidade de tempo da taxa de falhas), de acordo com a expressão apresentada, ter-se-ia a probabilidade de 50,34% que o item estivesse funcionando da forma esperada.

Pode-se também calcular a disponibilidade do equipamento, indicada na expressão a seguir.

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \, x \, 100(\%)$$

Segundo Sucena (2019), que cita Ireson *et. al* (1988), esse valor é classificado como a disponibilidade inerente, resultado relevante dado que um dos objetivos do uso das estratégias de manutenção descritas é o de aumentar a disponibilidade dos ativos. No caso proposto, obteve-se a disponibilidade para operação de 96,99% do tempo total.

Todos os valores obtidos são primordiais para a preparação de um plano de controle de manutenção e para o desenvolvimento de estratégias que busquem o aumento da disponibilidade e da confiabilidade dos sistemas, com as reduções dos custos e dos riscos da manutenção corretiva, promovendo a gestão mais inteligente dos ativos.

Como se pode observar, os indicadores de classe mundial que se referem à confiabilidade, disponibilidade e mantenabilidade podem ser avaliados por intermédio dos registros de falhas, ou seja, após a ocorrência delas, de forma a mitigá-las no futuro. Entretanto, para formação dessa base de dados é necessária uma ação reativa. Daí cabe a questão: é possível interferir nesses indicadores de forma proativa?

## BIBLIOGRAFIA

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

BRANCO FILHO, G. B. **Dicionário de Termos de manutenção, confiabilidade e qualidade**. Edição Mercosul. Português/Espanhol. ABRAMAN. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2004.

DIAS, Acires. **Confiabilidade na manutenção industrial**. Florianópolis, 2009.

KARDEC, A.; NASCIF, J**. Manutenção: Função Estratégica**. 4.ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2013.

KOMNINAKIS, Denis *et al*. Análise de confiabilidade para formulação de estratégia de manutenção de equipamentos em uma empresa da indústria alimentícia. **Revisa Produção Online**, 560-592 p. v. 18. 2018.

PASCHOAL, Débora Rodrigues De Souza *et al*. Disponibilidade e confiabilidade: aplicação da gestão da manutenção na busca de maior competitividade. **Revista da Engenharia de Instalações no mar da FSMA**, 2009.

RELIABILITY ANALYTICS CORPORATION. **Reliabilty Analysis Toolkit,** 2024. Ferramentas de análises estatísticas e de confiabilidade. Disponível em: https://reliabilityanalyticstoolkit.appspot.com/weibull_analysis. Acesso em: 20 set. 2024.

SELLITTO, M**.** Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos. **Produção.** v.15, n.1, p.44-59, 2005.

SHAHRIARI, Mohammadreza *et al*. Reliabilty analysis of lifetime systems based on Weilbull distribution. **Iran: International Journal of Nonlinear Analysis and Applications**, 2024.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R**. Administração da produção**. Segunda edição. São Paulo: Atlas, 2002.

SUCENA, Marcelo. **Gerência da Manutenção.** Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: https://marcelosucena.com.br/pages/2-academia-apostilas.html. Acesso em: 22 set. 2024