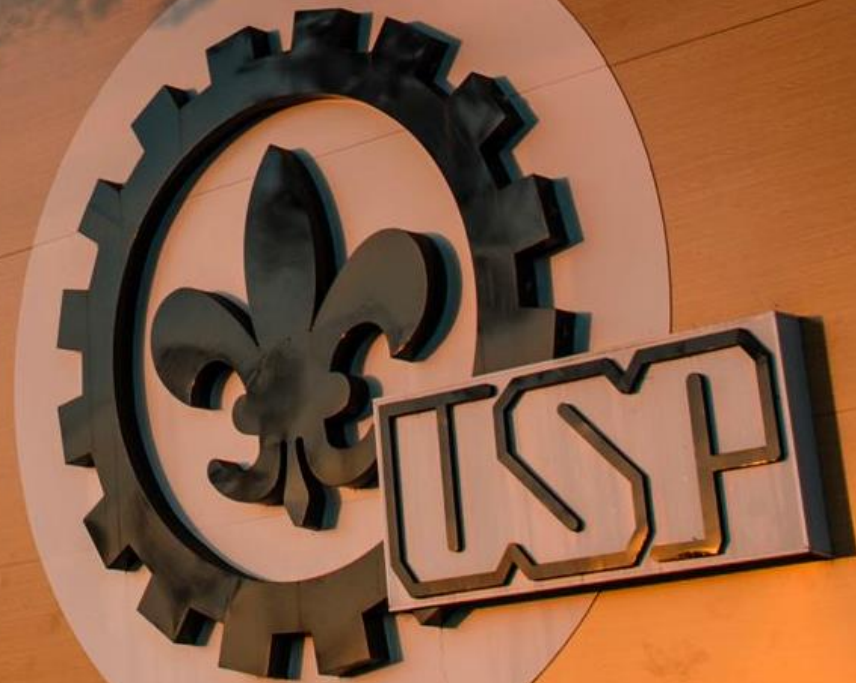
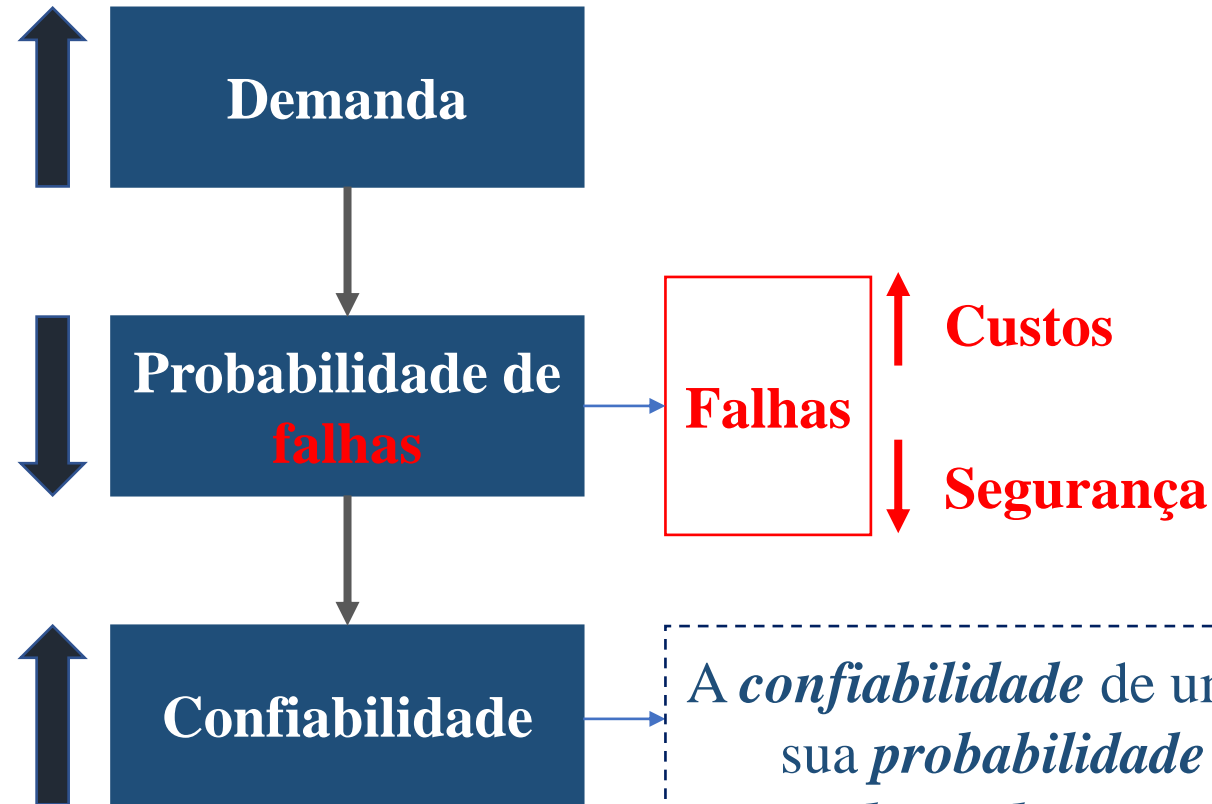


# Engenharia da Qualidade 3

Prof. Dr. Fabrício Maciel Gomes



## Confiabilidade



A *confiabilidade* de um *item* corresponde à sua *probabilidade* de *desempenhar adequadamente* o seu propósito especificado, por um determinado período de *tempo* e sob *condições ambientais* predeterminadas



A *confiabilidade* de um *item* corresponde à sua *probabilidade* de *desempenhar adequadamente* o seu propósito especificado, por um determinado período de *tempo* e sob *condições ambientais* predeterminadas



*item* → sistema, componente, equipamento

*confiabilidade* → Probabilidade (valor entre 0 e 1 e sujeita aos axiomas clássicos da probabilidade)

*desempenho adequado* → já vimos esse!

*tempo* → confiabilidade é uma função de um período de tempo.

*condições ambientais* → um mesmo produto pode apresentar desempenho distinto quando operando em diferentes ambientes.

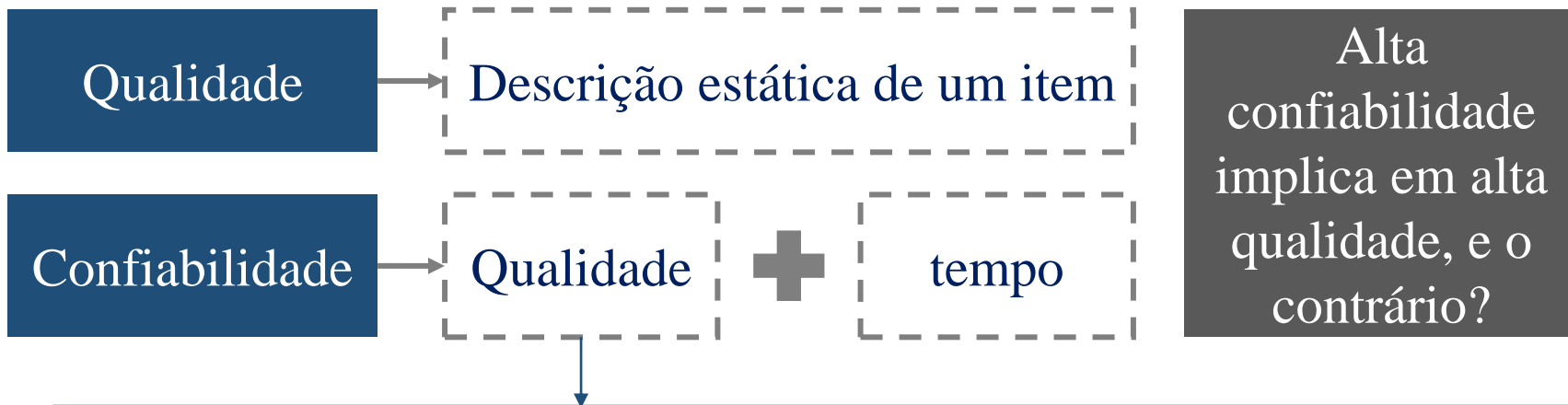
Com relação ao *tempo*

→ uma unidade de tempo deve ser definida (minutos, horas, anos, *ciclos, quilômetros*)

→ a confiabilidade é sempre descrita em termos de uma probabilidade por uma espaço de tempo. Falar que um item tem confiabilidade 0,7 não faz sentido! Temos que especificar durante qual período de tempo a análise foi realizada.

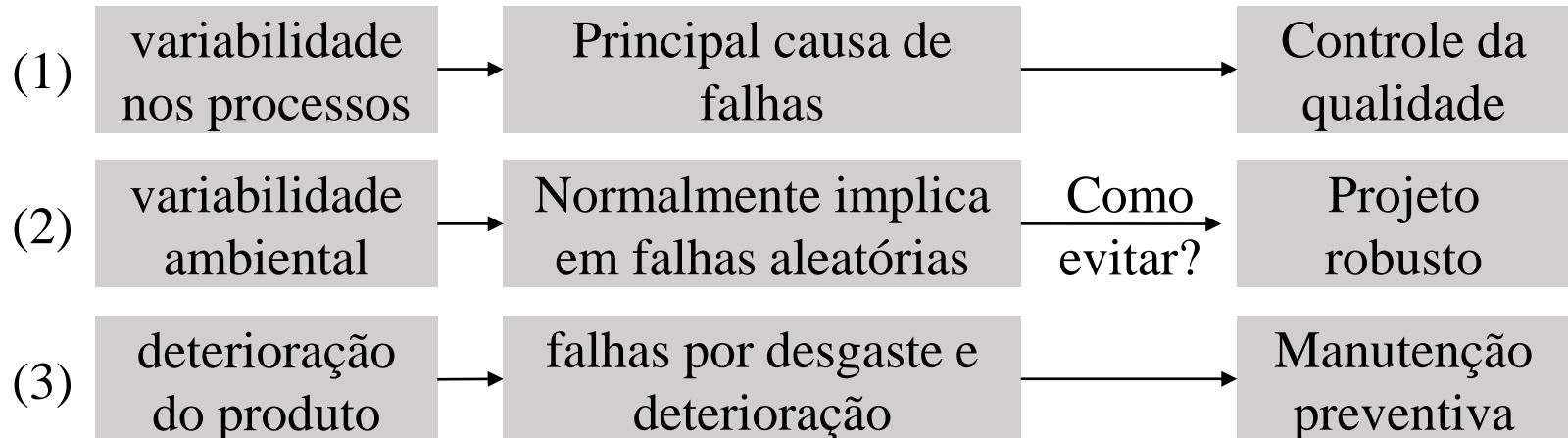
→ a determinação do que deveria ser usado para medir a vida de um item nem sempre é óbvia!





Características e atributos que atendem ao usuário (Padrão de desempenho)

Redução na variabilidade dos padrões de desempenho

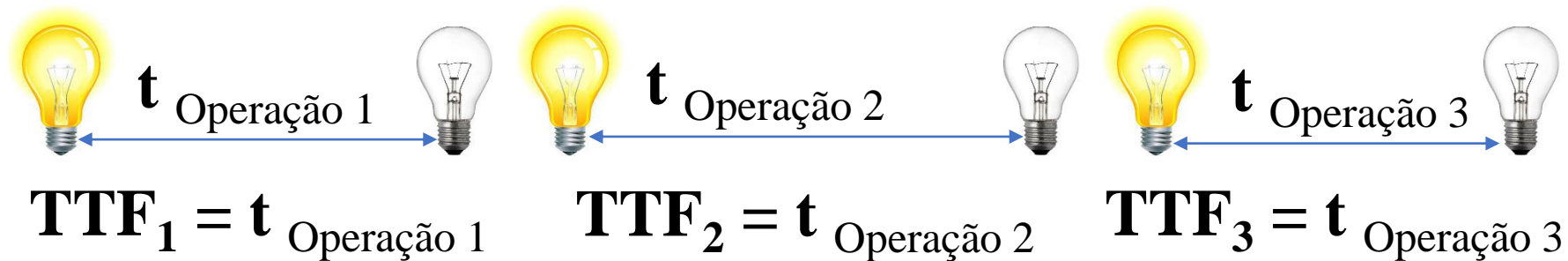


## INDICADORES



Tempo até a falha (TTF): Corresponde ao tempo transcorrido desde o momento que o item é colocado em operação até o momento de sua PRIMEIRA FALHA.

Aplicado apenas à itens não reparáveis, que são descartados após a falha.



***MTTF (Tempo Médio até a Falha)***

$$= \frac{\sum_{i=1}^n TTF_i}{n}$$

Quanto maior o número de amostras (n), mais próximo do real será o valor do MTTF estimado



# Engenharia da Qualidade III



Uma indústria, localizada em uma região de alta instabilidade de energia elétrica, passou a utilizar um novo tipo de fusível em um de seus equipamentos. Toda vez que um fusível queimava era substituído por outro igual. Nos últimos 5 anos, a indústria trocou 7 vezes o fusível deste equipamento. Qual O MTTF deste fusível?

## ***Resolução***

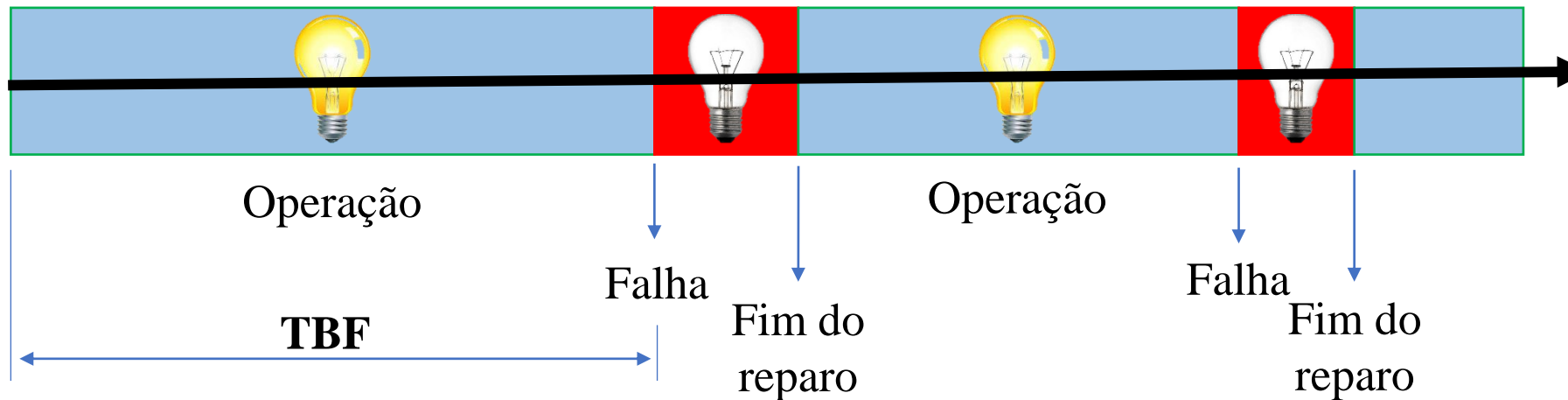
*Se ocorreram 7 falhas em 5 anos, tem-se uma média de 1,4 falhas a cada 1 ano (taxa anual de falhas)*

*Ou seja, ocorre 1 falha a cada 0,71 anos  $\left(\frac{1}{\text{taxa de falhas}}\right)$*

*O MTTF é igual a 8,57 meses.*



Tempo Médio Entre Falhas (MTBF): trata-se de uma média aritmética entre o fim de uma falha e o início da próxima. Sendo assim, é a média dos tempos de funcionamento da máquina, contados desde a colocação da máquina em funcionamento até a próxima falhas. Este indicador é aplicado apenas à itens reparáveis.



$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^n TBF_i}{n}$$

- Normalmente , TBF >> Tempo de Reparo
- Paradas para manutenção preventiva não entram nesse indicador



# Engenharia da Qualidade III



Uma máquina opera 20 horas por dia em uma empresa (já descontando as paradas para refeição do funcionário e trocas de turno). Analisando a tabela a seguir, qual o MTBF para este mês?

Válido do dia 1 ao dia 30

Falha	Dia	Tempo de reparo
Falha A	11	30 min
Falha B	20	90 min
Falha C	29	180 min



# Engenharia da Qualidade III



## *Resolução*

*Capacidade total de operação no mês = 30 dias x 20 horas = 600 horas*

*Tempo de Reparo Total = (30 + 90 + 180) min = 300 min = 5 horas*

*Tempo de Operação da Máquina = 600 horas - 5 horas = 595 horas*

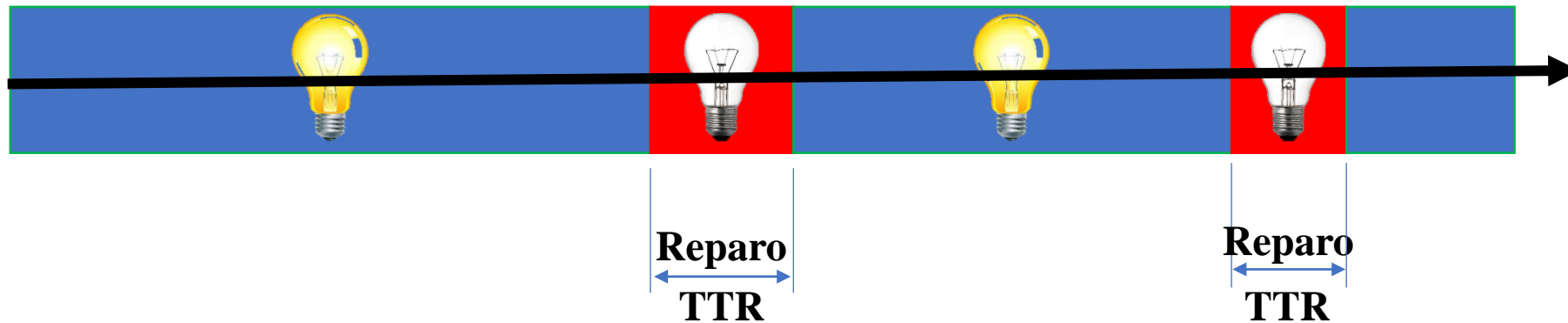
*Número de vezes que a máquina trabalhou e quebrou = 3 vezes*

$$MTBF = \frac{595}{3} = 198,3 \text{ horas}$$

Se o tempo de reparo é muito menor que o tempo de operação, pode-se fazer uso da seguinte aproximação.

$$MTBF = \frac{1}{\text{taxa de falhas}} \quad \text{Taxa de Falhas} = \frac{\text{Número de falhas}}{\text{Capacidade total de operação}}$$

O Tempo Médio para Reparo MTTR consiste da média aritmética dos tempos de reparo de um sistema, equipamento ou item. Leva em consideração o tempo desde a máquina ter falhado até a equipe responsável colocar a máquina em operação.



$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^n TTR_i}{n}$$





# Engenharia da Qualidade III



Para o último exercício, calcule o MTTR.

---

## ***Resolução***

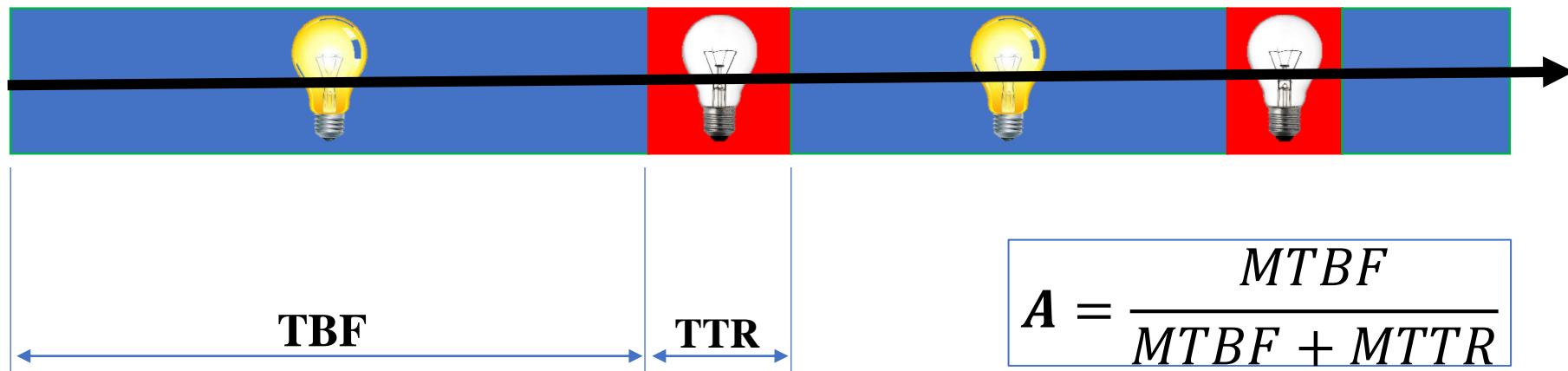
*O tempo de reparo no período foi de  $(30+90+180)$  min = 300 min = 5 horas. A máquina apresentou 3 ciclos de trabalho-quebra.*

$$MTTR = 5/3 = 1,66 \text{ horas}$$

Disponibilidade é a probabilidade de um equipamento ou sistema estar disponível para uso.

Mede a eficiência das ações de **manutenção corretiva**.

Se o tempo de reparo (em um dado período  $t$ ) for igual a zero (desprezível), a disponibilidade do equipamento (neste tempo  $t$ ) será 100%



**Se o equipamento for não reparável, sua disponibilidade  $A(t)$  é igual a sua confiabilidade  $R(t)$**



# Engenharia da Qualidade III



Para o último exercício, qual a disponibilidade da máquina no período analisado?

## *Resolução*

$$MTBF = 595/3 = 198,3 \text{ horas.}$$

$$MTTR = 5/3 = 1,66 \text{ horas.}$$

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{198,3}{198,3 + 1,66} = 0,9917$$

**LEMBRETE:** Paradas para manutenção preventiva não entram nesse cálculo. Entram no cálculo apenas paradas por motivo de falha.



# Engenharia da Qualidade III



Backlog é o montante de trabalho pendente (em medidas de tempo), que a equipe de manutenção deverá executar, supondo que novas ordens de serviço não sejam feitas durante esse período.

Trata-se de uma foto da situação atual de serviços pendentes de manutenção.

São causas de Backlog:

- ✓ Falta de mão-de-obra
- ✓ Falta de ferramentas
- ✓ Falta de condições de trabalho

$$\text{Backlog} = \frac{\text{Manutenções pendentes}}{\text{Mão de obra disponível}}$$

\*Para backlogs longos, usa-se “dias” como unidade de tempo.





# Engenharia da Qualidade III



O setor de manutenção de uma empresa conta com 24 eletricitas e 63 mecânicos. A capacidade produtiva de cada funcionário é de 8 horas diárias. Existem no momento 52 ordens de serviço (OS) para eletricitas e 76 OS para mecânicos. Cada OS possui a estimativa de número de funcionários necessários e tempo necessário.

As OS de eletricitas somam 2823 Hh estimados, enquanto as OS de mecânicos somam 3522 Hh estimados. Qual o Backlog de cada equipe?

## ***Resolução***

$$\text{Eletricitas} = 24 \text{ funcionários} \times 8 \text{ horas} = 192 \text{ Hh/dia}$$

$$\text{Backlog} = (2823 \text{ Hh}) / (192 \text{ Hh/dia}) = 14,7 \text{ dias}$$

$$\text{Mecânicos} = 63 \text{ funcionários} \times 8 \text{ horas} = 504 \text{ Hh/dia}$$

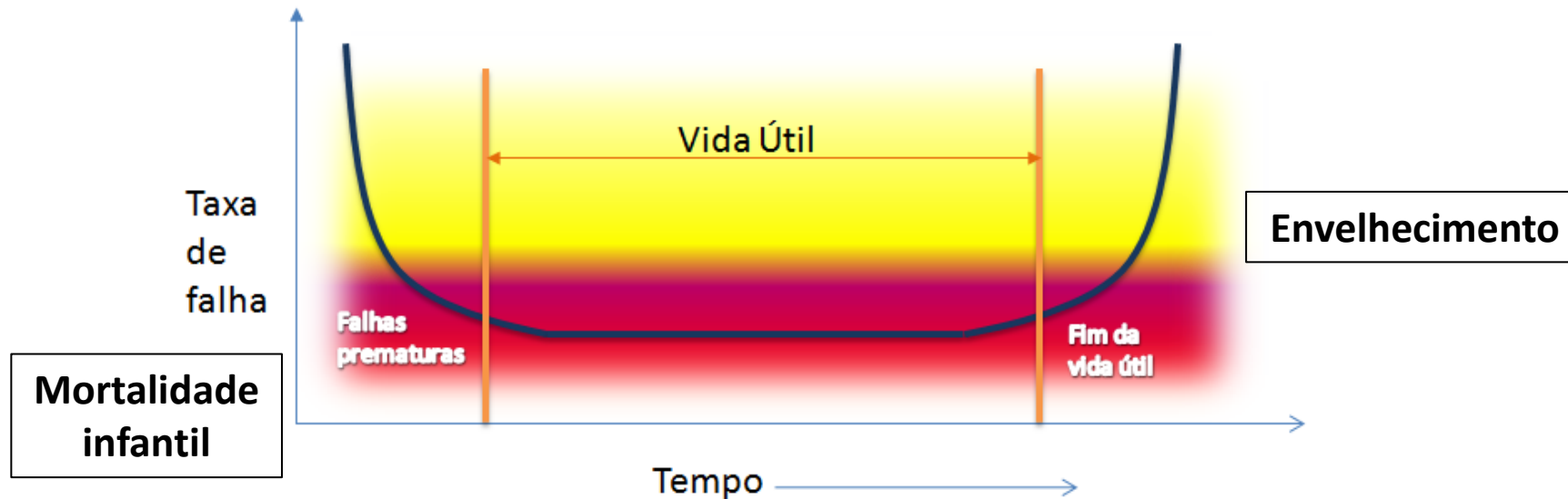
$$\text{Backlog} = (3522 \text{ Hh}) / (504 \text{ Hh/dia}) = 6,9 \text{ dias}$$

Quando corretamente monitorado, o Backlog pode justificar a contratação de mais funcionários de manutenção

A Confiabilidade, expressa através de sua função  $R(t)$ , indica a probabilidade uma unidade apresentar sucesso na operação (ausência de falha), no intervalo de tempo  $(0,t)$  e ainda estar funcional no tempo  $t$ .

$$R(t) = 1 - F(t)$$

$F(t)$  é a probabilidade de falha em um período de tempo  $t$





# Engenharia da Qualidade III



Confiabilidade: se a amostra apresentar distribuição exponencial, considera-se a Taxa de falhas constante ( $\lambda$ ), e:

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

$$MTTF = \frac{1}{\lambda}$$

Geralmente, a situação apresentada só é válida durante o período de vida útil do equipamento.

Distribuições exponenciais e a curva da banheira são aproximações matemáticas amplamente aceitas nos estudos de manutenção. No entanto, dependendo da situação, outras distribuições são utilizadas, assim como diferentes inferências quanto a taxa de falhas.



# Engenharia da Qualidade III



Um certo componente eletrônico apresenta taxa de falhas constante com valor de  $2,5 \times 10^{-5}$  falhas por hora. Calcule a probabilidade de o componente sobreviver pelo período de um ano ( $10^4$  horas). Caso um comprador adquirisse um lote desse componente e fizesse um teste de 5000 horas em uma amostra de 2000 componentes, quantos deles falhariam durante o teste?

## *Resolução*

$$\lambda = 2,5 \times 10^{-5} \text{ falhas por hora}$$

*Como a probabilidade de sobrevivência corresponde à confiabilidade, tem-se:*

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

*Então:*

$$R(10^4) = e^{-2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 10^4} = e^{-2,5 \cdot 10^{-1}} = \mathbf{0,7788}$$

A probabilidade do componente funcionar pelo período de um ano, dada a taxa de falhas, é de **77,88%**, valor que corresponde a sua **confiabilidade**.





# Engenharia da Qualidade III



*Respondendo à pergunta de quantos componentes falhariam em um teste de 5000 horas em uma amostra de 2000 componentes.*

*Como confiabilidade é uma probabilidade, tem-se:*

$$R(t) = \frac{n_s(t)}{n_s(t) + n_f(t)} = \frac{n_s(t)}{n_0}$$

Onde:

$n_s$  = sobreviventes  
 $n_f$  = falharam  
 $n_0$  = total

*Resolvendo:*

$$n_s = n_0 \cdot R(t) = 2000 \cdot e^{-2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 5 \cdot 10^3} = 1764,99 \text{ sobreviveram}$$

*Portanto, falharam 235 componentes, ou seja, 2000 – 1764,99.*

Feito um teste com seis radiadores para automóveis, chegou-se aos seguintes tempos  $t$  até a falha:

- ✓ Radiador 1 – falhou após 9,0 mil horas de uso
- ✓ Radiador 2 – falhou após 15,7 mil horas de uso
- ✓ Radiador 3 – falhou após 22,1 mil horas de uso
- ✓ Radiador 4 – falhou após 90,9 mil horas de uso
- ✓ Radiador 5 – falhou após 92,1 mil horas de uso
- ✓ Radiador 6 – falhou após 166,2 mil horas de uso



Sabendo-se que essa amostra segue uma distribuição exponencial, encontre: a) taxa de falhas, b) MTTF e c) confiabilidade em  $t = 100$  mil horas

## *Resolução*

$$\begin{aligned} \text{a) Taxa de falhas estimada } (\lambda) &= \frac{6}{9 + 15,7 + 22,1 + 90,9 + 92,1 + 166,2} \\ &= 0,0151 \frac{\text{falhas}}{\text{mil horas de uso}} \end{aligned}$$

$$\text{b) } MTTF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,0151} = 66,225 \text{ mil horas}$$

$$\text{c) } R(t) = e^{-\lambda t} \rightarrow R(100) = 0,2187, \text{ ou seja, } 21,87\%$$

A tabela ao lado mostra o número de dias até a falha de lâmpadas elétricas em condições de uso contínuo. Determine:

- Qual é o MTTF dos equipamentos?
- Qual é o tempo correspondente a uma confiabilidade de 95% para os equipamentos?

<b>20,1</b>	<b>98,7</b>	<b>256,4</b>	<b>662,6</b>
<b>20,4</b>	<b>115,3</b>	<b>267,2</b>	<b>668,9</b>
<b>21,5</b>	<b>116,9</b>	<b>332,6</b>	<b>702,7</b>
<b>32,5</b>	<b>190,9</b>	<b>378,6</b>	<b>750,7</b>
<b>35,3</b>	<b>191,8</b>	<b>417,4</b>	<b>771,1</b>
<b>56,0</b>	<b>219,2</b>	<b>433,1</b>	<b>907,0</b>
<b>63,6</b>	<b>234,5</b>	<b>522,4</b>	<b>952,2</b>
<b>74,1</b>	<b>235,7</b>	<b>560,4</b>	<b>1072,4</b>
<b>78,1</b>	<b>253,3</b>	<b>577</b>	<b>1168,4</b>
<b>82</b>	<b>254,2</b>	<b>581,7</b>	

## *Resolução*

$$a) \lambda = \frac{39 \text{ falhas}}{14376,9 \text{ dias}} = 2,712 \cdot 10^{-3}$$

$$MTTF = \frac{1}{2,712 \cdot 10^{-3}} = 368,63 \text{ dias}$$

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

$$0,95 = e^{(-2,712 \cdot 10^{-3} \cdot t)}$$

$$t = 18,913 \text{ dias}$$