Manutenção e Confiabilidade

DEPROT/UFRGS

Flávio S. Fogliatto, *Ph.D.*

Confiabilidade

- ***Definição***

"A confiabilidade de um item corresponde à sua probabilidade de desempenhar adequadamente ao seu propósito especificado, por um determinado período de tempo e sob condições ambientais pré-determinadas."

Item

"A confiabilidade de um item corresponde à sua probabilidade de desempenhar adequadamente ao seu propósito especificado, por um determinado período de tempo e sob condições ambientais pré-determinadas."

- Definição de item depende do propósito do estudo:
  - Pode ser um ***sistema***, constituído de um arranjo de diversos componentes, como um item
  - Pode ser um ***componente*** do arranjo em particular.
- ***Exemplo***: na análise de um monitor, pode-se considerar o monitor (c/ todas partes componentes) como um item, ou algum dos componentes individualmente.

Confiabilidade = *probabilidade*

"A confiabilidade de um item corresponde à sua probabilidade de desempenhar adequadamente ao seu propósito especificado, por um determinado período de tempo e sob condições ambientais pré-determinadas."

- Confiabilidades devem apresentar valores entre 0 e 1.
- Axiomas da probabilidade podem ser aplicados em cálculos de confiabilidade:
  - P. ex., se 2 componentes independentes apresentam confiabilidade, após 100 horas de uso, de p_1 e p_2 e a falha do sistema ocorre quando qualquer dos 2 componentes falha, então a confiabilidade do sistema em uma missão de 100 horas é dada por $p_1 \times p_2$.

Desempenho adequado

"A confiabilidade de um item corresponde à sua probabilidade de **desempenhar adequadamente** ao seu propósito especificado, por um determinado período de tempo e sob condições ambientais pré-determinadas."

- Conhecimento do que se entende por desempenho adequado, permite definir quando o **item falha**:
  - mediante a ocorrência da falha, o item deixa de desempenhar adequadamente suas funções
- Um padrão deve ser usado na determinação do que se entende por desempenho adequado:
  - P. ex.: se item em estudo for um carro e se o padrão for um carro capaz de se movimentar, um carro sem surdina continuará apresentando um desempenho adequado.

Propósito (de uso do item)

"A confiabilidade de um item corresponde à sua probabilidade de desempenhar adequadamente ao seu **propósito** especificado, por um determinado período de tempo e sob condições ambientais pré-determinadas."

- Deve ser precisamente especificado:
  - é usual que um mesmo produto seja fabricado em diferentes versões, conforme o uso pretendido.
  - Por exemplo, uma furadeira pode ser fabricada para uso doméstico ou industrial:
    - » produtos apresentam funções idênticas, mas diferenciam-se quanto à sua confiabilidade, pois foram projetados para cargas de uso distintas.

Período de tempo

"A confiabilidade de um item corresponde à sua probabilidade de desempenhar adequadamente ao seu propósito especificado, por um determinado **período de tempo** e sob condições ambientais pré-determinadas."

- Confiabilidade é definida como função de um período de tempo. As conseqüências são:
  - analista deve definir uma unidade de tempo (p. ex., horas ou anos) p/ realização das análises;
  - modelos que descrevem os *TTF*s utilizam a v.a. *T* (e não *X*, como é usual na Estatística clássica);
  - (*iii*) *tempo* não deve ser interpretado literalmente;
  - (*iv*) confiabilidade deve ser associada a um período de tempo ou duração de missão; e
  - (*v*) determinação do que deveria ser usado p/ medir vida de um item nem sempre é óbvia; p.ex., *TTF* de uma lâmpada pode ser definido como o nº somado de horas até falha, desconsiderando tempos desligados.

Condições ambientais

"A confiabilidade de um item corresponde à sua probabilidade de desempenhar adequadamente ao seu propósito especificado, por um determinado período de tempo e sob **condições ambientais** pré-determinadas."

- Um mesmo produto pode apresentar *desempenho distinto* operando em ambientes de calor ou umidade intensos, se comparado a produtos expostos a condições climáticas amenas de uso.

Importância da Confiabilidade

- No projeto de produtos, processos e serviços.
  - Itens confiáveis requerem menor intervenção do fabricante após venda, gerando menos custos.
  - Projeto de itens confiáveis integra funções de *design* e manufatura, gerando processos mais robustos e estáveis.
  - Fornece suporte quantitativo a técnicas qualitativas bastante difundidas como FMEA (*failure mode effect analysis*)

Exemplos práticos

- Em 1963, o submarino nuclear *Thresher* implodiu causando a morte de 129 tripulantes:
  - testes na carcaça limitavam a profundidade de operação a 500 metros de profundidade.
  - tripulantes ignoraram procedimentos operacionais e ultrapassaram profundidade máxima em mais de 30%, causando colapso da carcaça do submarino.

Exemplos práticos

- Em 1986, duas explosões destruíram o mais novo dos 4 reatores nucleares em Chernobyl, causando o pior desastre nuclear comercial da história:
  - 31 pessoas morreram e 200 pessoas foram vítimas de radiação crônica.
  - perdas monetárias foram da ordem de US$ 3 bilhões.

Exemplo no setor de serviços

- Na década de 60, a AT&T instalou seu primeiro cabo transatlântico de comunicações. O objetivo era no máximo 1 falha em 20 anos.
- O cabo ainda está em operação sem nenhuma falha.
- A AT&T está repondo antigos cabos por cabos de fibra ótica, mais baratos e com confiabilidade de projeto de no máximo 1 falha em 80 anos de uso.

Importância da Confiabilidade
Exemplo no setor automobilístico

- GM e Ford fizeram diversos *recalls* na década de 90, para substituição de partes defeituosas.
- *Recalls* causam perdas monetárias enormes, além de prejudicar a imagem da empresa junto a seus clientes (passa a ser vista como *não-confiável*).
- Ford produziu 23 milhões de transmissões automáticas defeituosas entre 1968 e 1980, gerando mais de 1000 processos e indenizações que somam mais de US$500 milhões.

Áreas de aplicação da Confiabilidade na EP

- <u>Análises de risco e segurança</u>
- <u>Proteção ambiental</u> –na melhoria do projeto e regularidade operacional de sistemas anti-poluentes.
- <u>Qualidade</u> –confiabilidade é uma CQ (talvez a + importante) a ser considerada no projeto e otimização de produtos e processos.
- <u>Otimização da manutenção</u> – através da adoção de programas de manutenção centrados em confiabilidade.
- <u>Projeto de produtos</u>

Qualidade ≠ Confiabilidade

- *Principal diferença*: confiabilidade incorpora a passagem do tempo; qualidade é uma descrição estática de um item.
- *Exemplo*: dois transistores de igual qualidade usados em um aparelho de televisão e em um equipamento bélico:
  - Ambos os transistores apresentam qualidade idêntica, mas o 1º possui confiabilidade provavelmente maior, pois será utilizado de forma mais amena (em ambiente de menor *stress*).
  - Parece claro que uma alta confiabilidade implica em alta qualidade; o contrário é que pode não ser verdade.

Medidas de Confiabilidade

- Principais medidas de confiabilidade:
  - Função de Confiabilidade → $R(t)$
    (também denominada *função de sobrevivência*)
  - Taxa de Falha (ou risco) e Função de Risco → $h(t)$
  - Tempo Médio até a Falha → *MTTF*
  - Vida Média Residual → *MRL*

Tempo até Falha (TTF)

◆ *Definição:*

Tempo transcorrido desde o momento em que a unidade é colocada em operação até o momento de sua primeira falha.

◆ *Representação*:

Variável aleatória T, com realizações representadas por t.

TTF*s* podem ser discretos ou contínuos

◆ **Discretos** - número de rotações até falha, número de aterrisagens até falha, etc.

◆ **Contínuos** - tempo de calendário.

Variáveis discretas podem ser aproximadas por variáveis contínuas.

⇩ *logo*

Supõe-se T continuamente distribuída c/ densidade de probabilidade $f(t)$ e função acumulada de probabilidade $F(t)$.

Função Acumulada de Probb

$$F(t) = P(T \le t) = \int_0^t f(u)du \quad , \quad t > 0$$

Densidade de probabilidade $f(t)$ é dada por:

$$f(t) = \frac{d}{dt}F(t)$$

Propriedades de $f(t)$ são vistas mais adiante.

Função de Confiabilidade

◆ Dada pela probabilidade da unidade (componente/sistema) não falhar no intervalo $(0, t]$; isto é:

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - P(T \le t) = P(T > t) \ , \ t > 0$$

Taxa de Falha

- Dada pela probb da unidade vir a falhar no intervalo (t, $t + \Delta\, t$), dado que a unidade está operante no tempo t:

$$P(t < T \leq t + \Delta t | T > t) = \frac{P(t < T \leq t + \Delta t)}{P(T > t)}$$
$$= \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{R(t)}$$

Função de Risco, $h(t)$

- É dada pela taxa instantânea de falha.
- P/ determiná-la, divide-se a taxa de falha por um intervalo de tempo Δt e calcula-se o limite.
- O resultado é:

$$h(t) = f(t) \times \frac{1}{R(t)}$$

Importante

- $h(t)$ é uma probb condicional.

  "Dado que a unidade está operante no tempo t, qual a probb de falha em (t, $t + \Delta t$]?"

- $f(t)$ é uma probabilidade não-condicional.

  "Qual a probb da unidade falhar no intervalo (t, $t + \Delta t$]?"

Importante

- $h(t)$ indica a mudança na taxa de falha no decorrer da vida de uma população de unidades.
- <u>Exemplo:</u>
  - Dois componentes podem apresentar a mesma confiabilidade num tempo *t e* taxas de falha (até o tempo *t)* completamente diferentes.

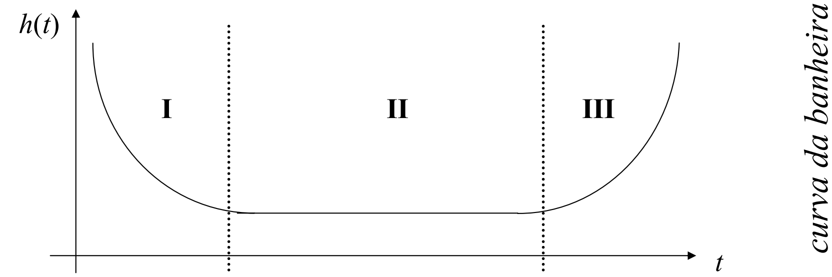
$R(t)$ e $f(t)$ são unicamente determinadas por $h(t)$

$$R(t) = \exp\left[-\int_0^t h(t)\,dt\right]$$

$$f(t) = h(t)\exp\left[-\int_0^t h(t)\,dt\right]$$

Componentes e função de risco

- Um grande nº de componentes apresenta três funções de risco ao longo de sua vida útil:



I - mortalidade infantil (usualm^te ocorre durante *burn-in*);
II - vida normal;
III - desgaste.

Exemplo

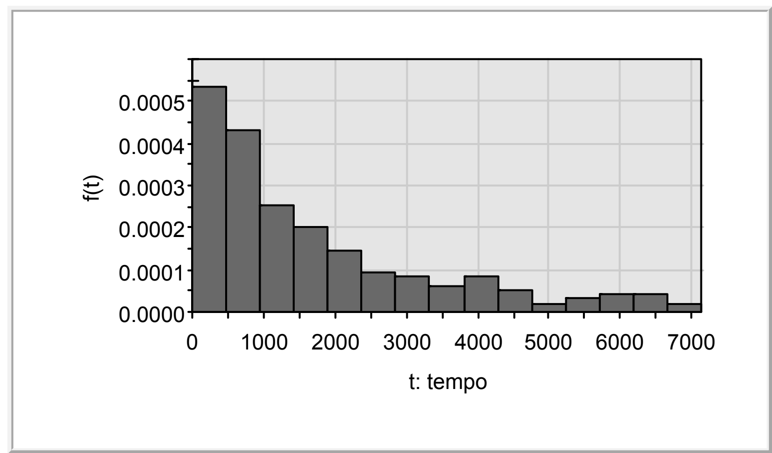
- Deseja-se estimar a MTTF de lâmpadas elétricas. Duzentas lâmpadas são testadas e as falhas são registradas.

Intervalo de tempo *(horas)*	Falhas no intervalo
0 - 1000	100
1001 - 2000	40
2001 - 3000	20
3001 - 4000	15
4001 - 5000	10
5001 - 6000	8
6001 - 7000	7
Total	200

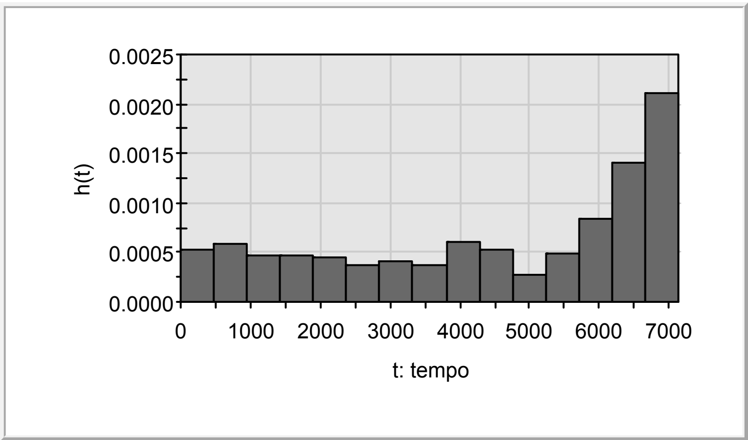
Determine:

- função de densidade, $f(t)$
- função de risco, $h(t)$
- função de confiabilidade, $R(t)$

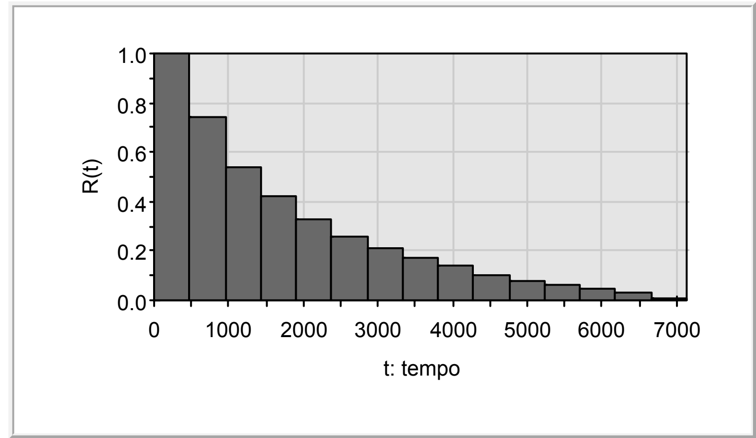
Função de densidade de probb



Função de risco



Função de confiabilidade



MTTF

- O tempo médio-até-falha é função da confiabilidade:

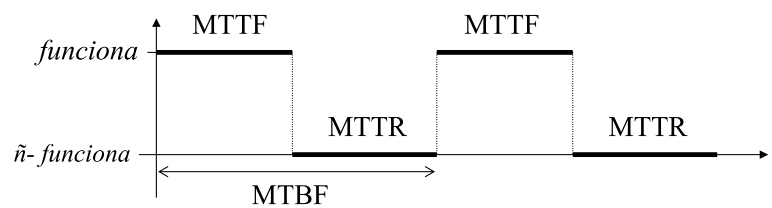
$$MTTF = \int_0^\infty R(t)\,dt$$

- Um expressão similar é dada por:

$$MTTF = \int_0^\infty t\, f(t)\,dt$$

MTBF e MTTR

- MTBF = tempo médio entre falhas.
- MTTR = tempo médio de reparo.
  - Quando MTTR $\rightarrow$ 0, MTTF $\cong$ MTBF
  - Quando MTTR >> 0, MTBF = MTTF + MTTR
- *Representação gráfica:*



Vida Média Residual, MRL

- É a vida remanescente (T - l) esperada p/ a unidade, dado que no tempo t a unidade estava operante.
- É definida em termos de uma probabilidade condicional:

$$L(t) = E\left[T - t \middle| T \geq t\right]$$

$$L(t) = \frac{1}{R(t)}\left[\int_t^{\infty} \tau f(\tau)d\tau\right] - t$$

Relação entre funções

- É fácil observar que as diferentes funções dos tempos-até-falha estão relacionadas.
- A tabela a seguir mostra como, a partir de uma função, pode-se obter as demais.
- Por exemplo, se dispusermos somente da densidade do TTF, como obter todas as demais funções.

Relação entre funções

	$f(t)$	$R(t)$	$h(t)$	$H(t)$	$L(t)$
$f(t)$	•	$\int_t^{\infty} f(u)du$	$f(t) \big/ \int_t^{\infty} f(u)du$	$-\ln\left[\int_t^{\infty} f(u)du\right]$	$\frac{\int_t^{\infty} u\, f(u)du}{\int_t^{\infty} f(u)du} - t$
$R(t)$	$-R'(t)$	•	$-R'(t) \big/ R(t)$	$-\ln R(t)$	$\frac{1}{R(t)}\int_t^{\infty} R(u)du$
$h(t)$	$h(t)e^{-\int_0^t h(u)du}$	$e^{-\int_0^t h(u)du}$	•	$\int_0^t h(u)du$	$\frac{\int_t^{\infty} e^{-\int_0^u h(y)dy}du}{e^{-\int_0^t h(u)du}}$
$H(t)$	$H'(t).e^{-H(t)}$	$e^{-H(t)}$	$H'(t)$	•	$e^{H(t)}\int_t^{\infty} e^{-H(u)}du$
$L(t)$	$\frac{1+L'(t)}{L(t)}e^{-\int_0^t \frac{1+L'(u)}{L(u)}du}$	$e^{-\int_0^t \frac{1+L'(u)}{L(u)}du}$	$\frac{1+L'(t)}{L(t)}$	$\int_0^t \frac{1+L'(u)}{L(u)}du$	•

$R'(t)$ denota a derivada primeira de $R(t)$ em relação a t.

Exemplo

- Lâmpadas elétricas costumam apresentar tempos-até-falha descritos por uma distribuição exponencial, c/ densidade dada por:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \text{ , } t \geq 0$$

- Na sequência, derivam-se as principais medidas de confiabilidade associadas às lâmpadas.

Exemplo
Função de confiabilidade

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(u)du =$$

$$= \int_t^{\infty} \lambda e^{-\lambda u} du =$$

$$= -e^{-\lambda u} \Big|_t^{\infty} = \left[0 - \left(-e^{-\lambda t}\right)\right] = e^{-\lambda t}$$

Exemplo
Função de risco

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} =$$

$$= \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda$$

- Como λ = constante, conclui-se que a função de risco da exponencial é do tipo FRE (função de risco constante no tempo).

Exemplo
Função de risco acumulada

$$H(t) = \int_0^t h(u)du =$$

$$= \int_0^t \lambda du = \lambda t$$

Exemplo
Tempo médio até falha (*MTTF*)

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt =$$

$$= \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{-1}{\lambda}[e^{-\lambda t} \Big|_0^{\infty} =$$

$$= \frac{-1}{\lambda}(0-1) = \frac{1}{\lambda}$$

- MTTF p/ tempos-até-falha exponencialmente distribuídos corresponde ao recíproco da taxa de falha λ.

Exemplo

Vida residual média

$$L(t) = \frac{1}{R(t)} \int_t^{\infty} u f(u) du - t =$$

$$= \frac{1}{e^{-\lambda t}} \int_t^{\infty} u \lambda e^{-\lambda u} du - t = \frac{1}{\lambda}$$

- Mediante suposição de tempos-até-falha exponencialmente distribuídos, a vida residual média da unidade independe de sua idade.

Exercícios

- Resolva os exercícios 1, 2 e 8 da lista no final do Capítulo 1 da apostila.