

Confiabilidade

PTC2527 – EPUSP – 2017

Prof. Guido Stolfi

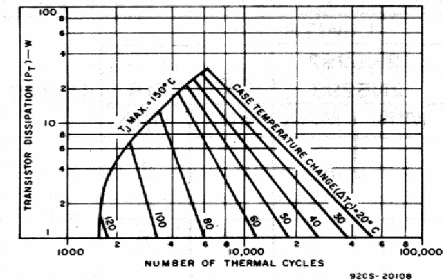


Fig. 3— Thermal-cycling rating chart for all types.

- A Pressão pela Confiabilidade
- Modelos e Definições
- Confiabilidade de Sistemas
- Redundância
- Análise de Falhas
- Teoria do Defeito
- Modelos de Falhas em Componentes
- Determinação de Taxa de Falhas
- Confiabilidade de Software

- **Artigo 12:** “O fabricante, o produtor, o construtor, nacional ou estrangeiro, e o importador respondem, independentemente da existência de culpa, pela reparação dos danos causados aos consumidores por defeitos decorrentes de projeto, fabricação, construção, montagem, , bem como por informações insuficientes ou inadequadas sobre sua utilização e riscos.”

- **Artigo 18:** “Os fornecedores de produtos de consumo duráveis ou não duráveis respondem solidariamente pelos vícios de qualidade ou quantidade que os tornem impróprios ou inadequados ao consumo a que se destinam ou lhes diminuam o valor ... Podendo o consumidor exigir a substituição das partes viciadas.”

- Negligência: uso de processos ou insumos abaixo do padrão, margens de segurança insuficientes, erros de projeto
- Inadequação: Ausência de funcionalidade, garantias implícitas, qualidade intrínseca do produto, expectativas do usuário
- Falsidade ideológica: mentir sobre as características do produto

- Responsabilidade principal da engenharia de produto
- Salvaguardas:
 - Seguir normas e procedimentos padronizados
 - Aplicar testes pertinentes
 - Documentar os processos de projeto, fabricação e aceitação
 - Avaliar custos da minimização dos riscos
 - Aplicar Análise de Confiabilidade

LIFE SUPPORT POLICY

XXXXX'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF XXXXX SEMICONDUCTOR CORPORATION.

CERTAIN APPLICATIONS USING SEMICONDUCTOR PRODUCTS MAY INVOLVE POTENTIAL RISKS OF DEATH, PERSONAL INJURY, OR SEVERE PROPERTY OR ENVIRONMENTAL DAMAGE ("CRITICAL APPLICATIONS"). ZZZZZ SEMICONDUCTOR PRODUCTS ARE NOT DESIGNED, AUTHORIZED, OR WARRANTED TO BE SUITABLE FOR USE IN LIFE-SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS OR OTHER CRITICAL APPLICATIONS. INCLUSION OF ZZZZZ PRODUCTS IN SUCH APPLICATIONS IS UNDERSTOOD TO BE FULLY AT THE CUSTOMER'S RISK.

YYYYY PRODUCTS ARE NOT DESIGNED, INTENDED, OR AUTHORIZED FOR USE AS COMPONENTS IN SYSTEMS INTENDED FOR SURGICAL IMPLANT INTO THE BODY, OR OTHER APPLICATIONS INTENDED TO SUPPORT OR SUSTAIN LIFE, OR FOR ANY OTHER APPLICATION IN WHICH THE FAILURE OF THE YYYYY PRODUCT COULD CREATE A SITUATION WHERE PERSONAL INJURY OR DEATH MAY OCCUR. SHOULD BUYER PURCHASE OR USE YYYYY PRODUCTS FOR ANY SUCH UNINTENDED OR UNAUTHORIZED APPLICATION, BUYER SHALL INDEMNIFY AND HOLD YYYYY AND ITS OFFICERS, EMPLOYEES, SUBSIDIARIES, AFFILIATES, AND DISTRIBUTORS HARMLESS AGAINST ALL CLAIMS, COSTS, DAMAGES, AND EXPENSES, AND REASONABLE ATTORNEY FEES ARISING OUT OF DIRECTLY OR INDIRECTLY, ANY CLAIM OF PERSONAL INJURY OR DEATH ASSOCIATED WITH SUCH UNINTENDED OR UNAUTHORIZED USE, EVEN IF SUCH CLAIM ALLEGES THAT YYYYY WAS NEGLIGENT REGARDING THE DESIGN OR MANUFACTURE OF THE PART.

- A perfeição não é um atributo humano
- Não há limites para o custo da qualidade

- Comercial Genérico: 5%, carvão, 200ppm/°C
 - US\$ 0,003
- Precisão: 1%, Filme metálico, 50 ppm/°C
 - US\$ 0,014
- Automotivo: 1%, Filme fino, 50 ppm/°C
 - US\$ 0,15
- Militar: 0,1%, Filme metálico, 25 ppm/°C
 - US\$ 1,50
- Especial: 0,01%, Filme metálico, 2 ppm/°C
 - US\$ 3,50
- Padrão Secundário: 0,001%, 0,2 ppm/°C
 - US\$ 40,00

Modelos e Definições

Definição:

- Probabilidade de que um sistema ou componente esteja operando dentro de condições especificadas por um determinado período de tempo ou número de operações.

Definição:

- O término da capacidade de um sistema ou componente de realizar sua função especificada.

Falha Parcial:

- Desvios de características, além de limites estabelecidos, mas que não causam perda completa da função requerida.

Falha Completa:

- Desvios além de limites estabelecidos, causando perda total da função requerida.

Falha Gradual:

- Ocorrência pode ser prevista através de inspeção e/ou acompanhamento

Falha Súbita:

- Ocorrência imprevisível
- Falha aleatória

Falha Catastrófica:

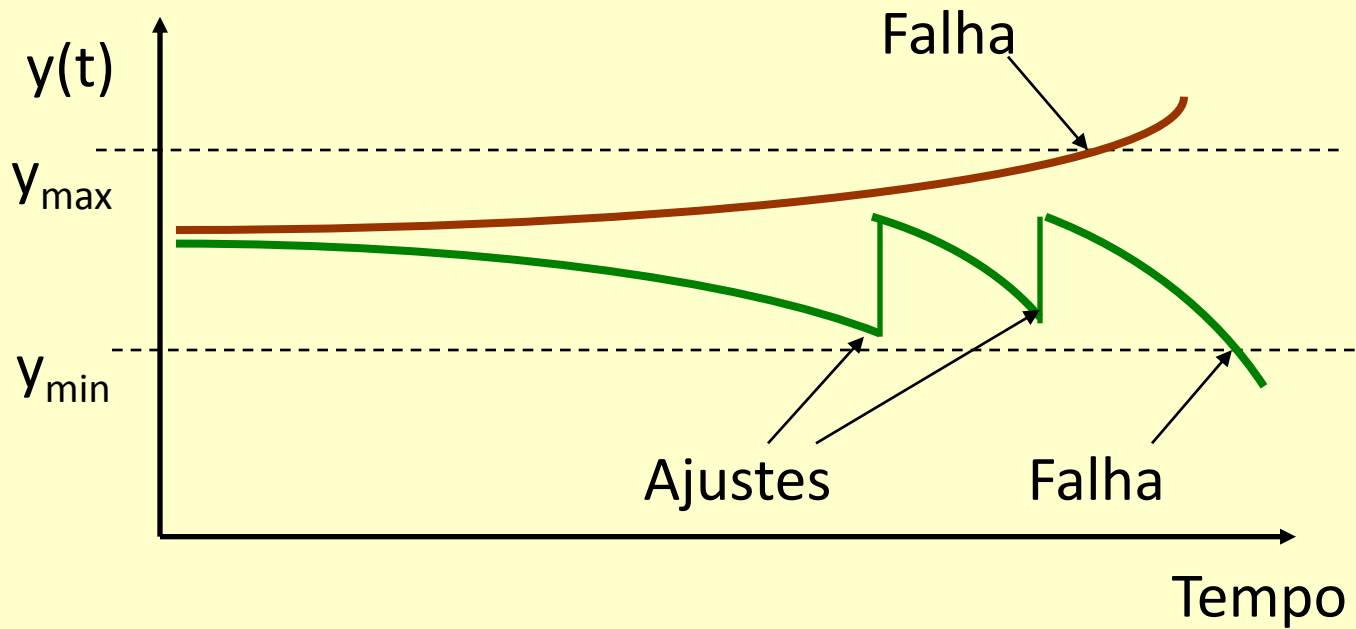
- Falha Súbita e Completa

Falha Marginal:

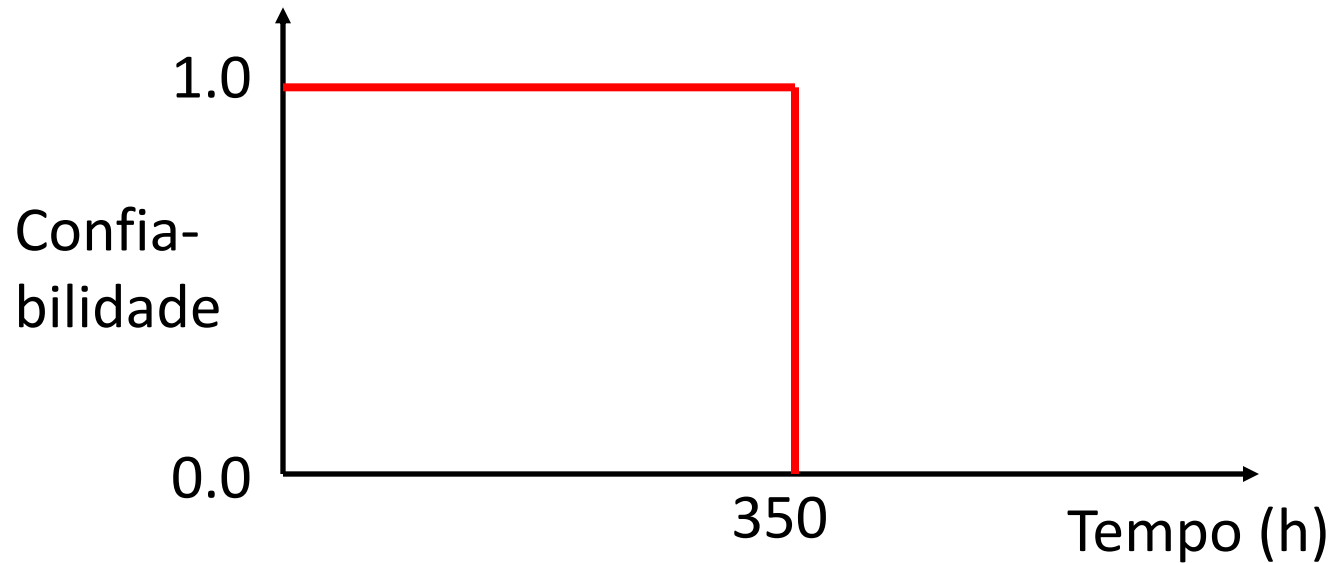
- Súbita e Parcial

Degradação:

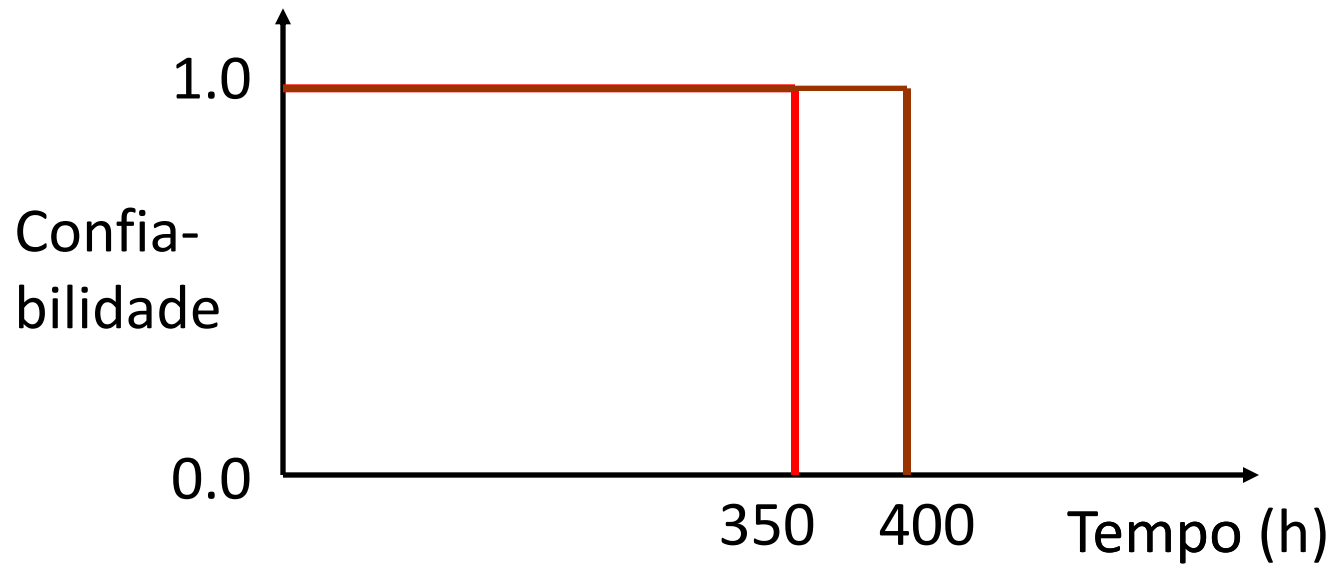
- Falha Gradual e Parcial.



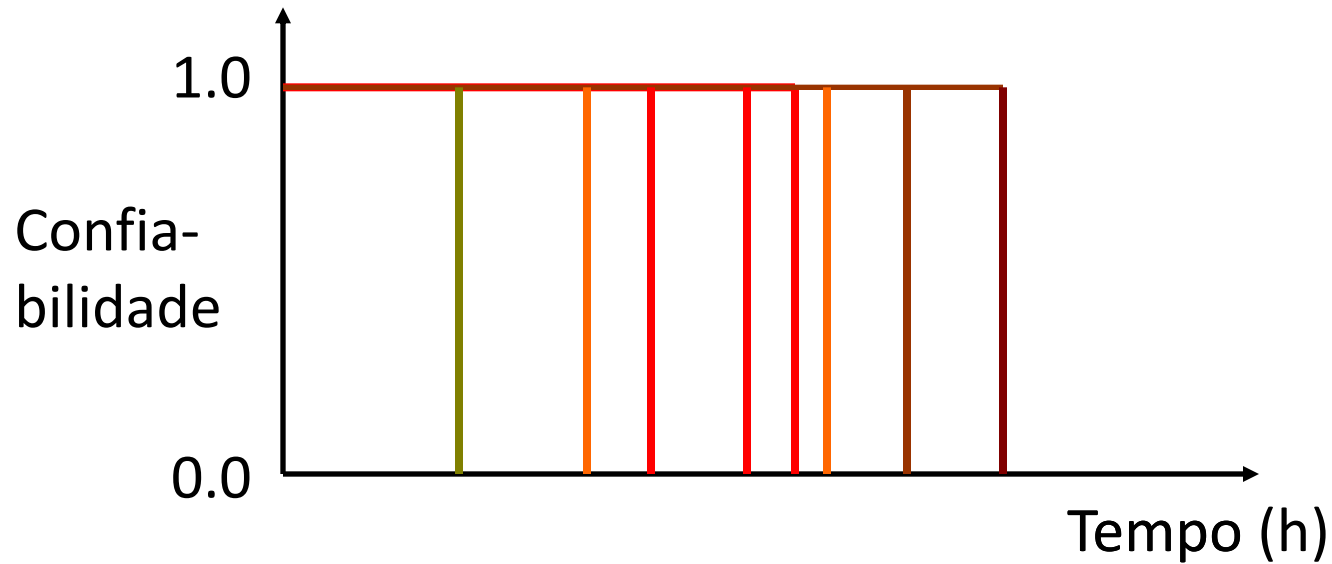
- Ex.: Uma lâmpada em particular



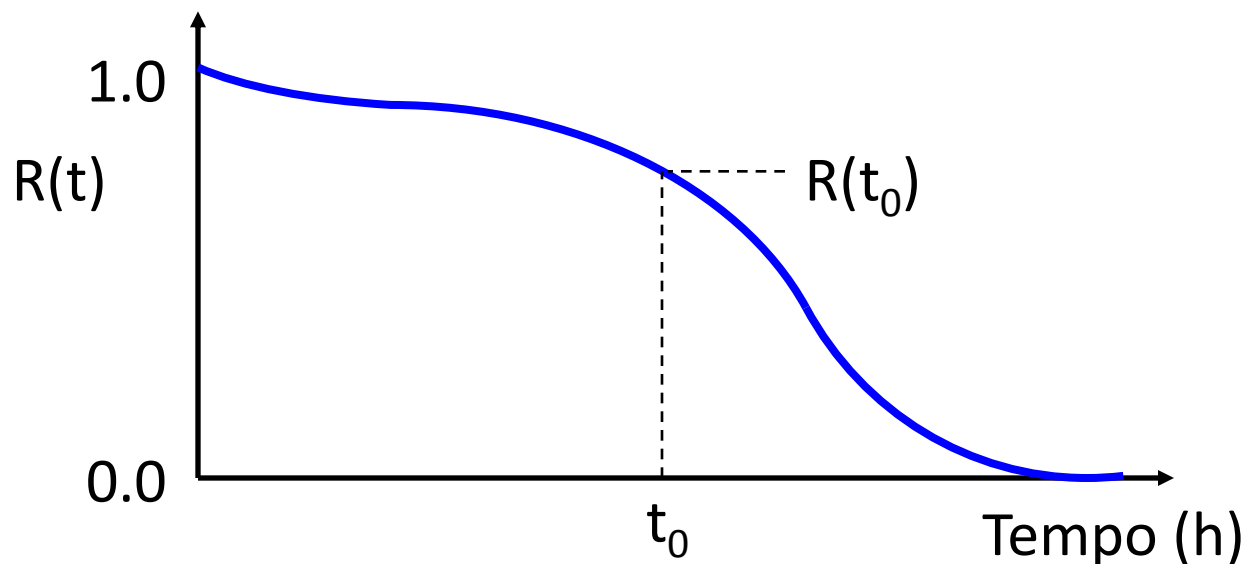
- Outra lâmpada similar:



- Mais lâmpadas:

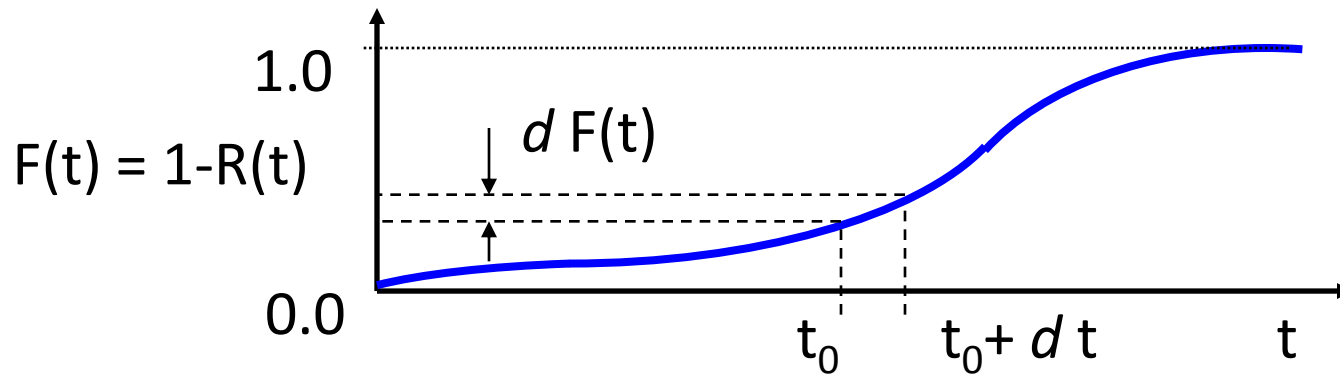
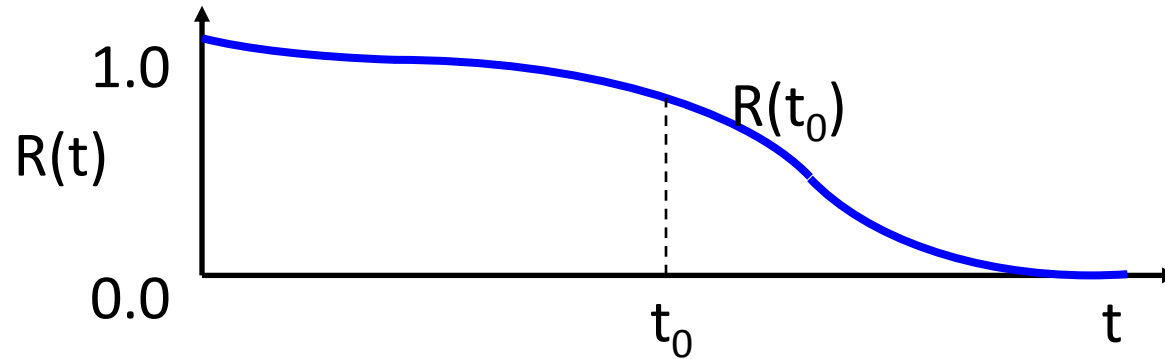


- Média dos testes de Vida Útil de uma população de componentes similares



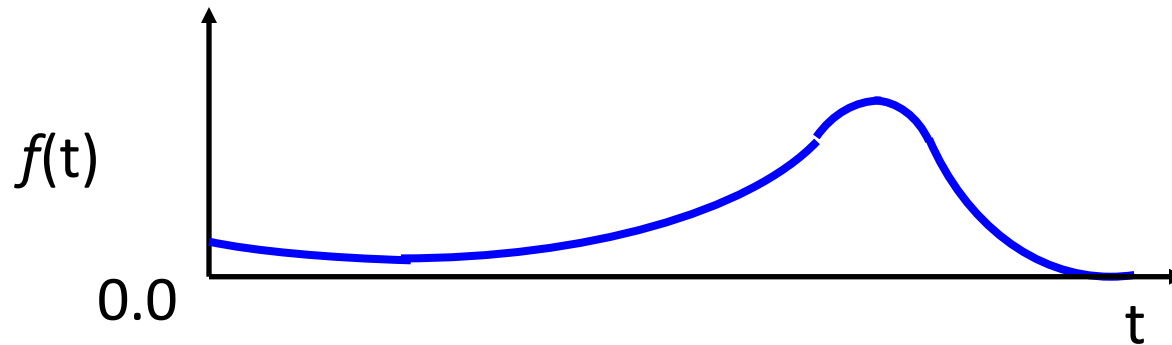
- $R(t_0)$ equivale à Confiabilidade (probabilidade de operação) no instante t_0
- Também equivale à probabilidade de que a vida útil do componente ou sistema exceda o instante t_0

- $F(t) = 1 - R(t)$ = Probabilidade Cumulativa de Falhas
- Vida Útil = Tempo de operação dentro do qual $F(t)$ é menor que um valor especificado



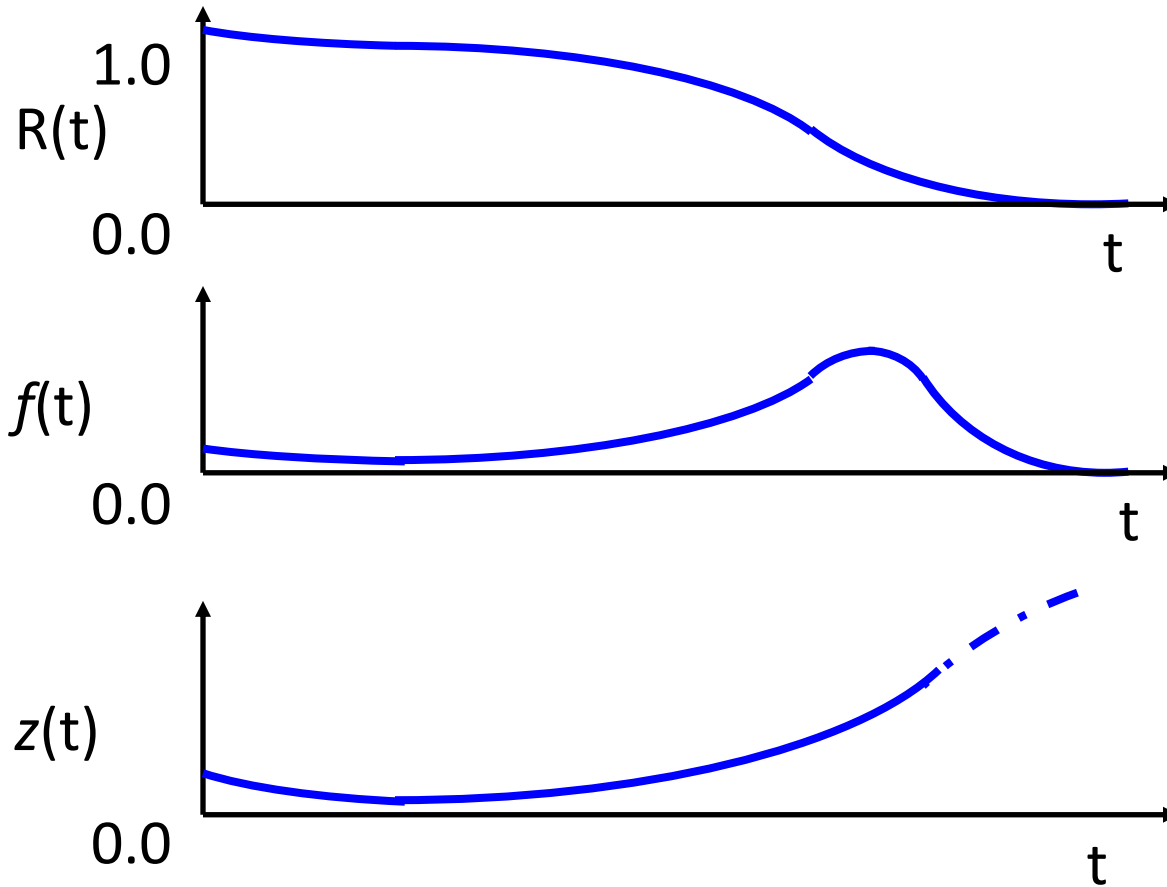
- Derivada da Probabilidade Cumulativa de falhas

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt}$$

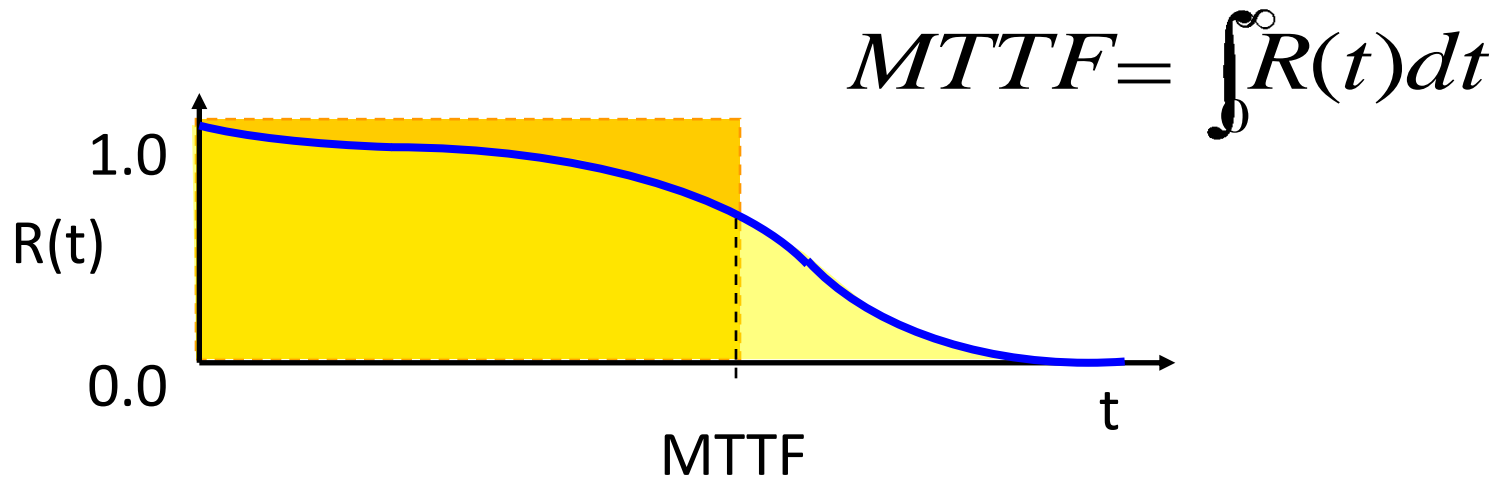


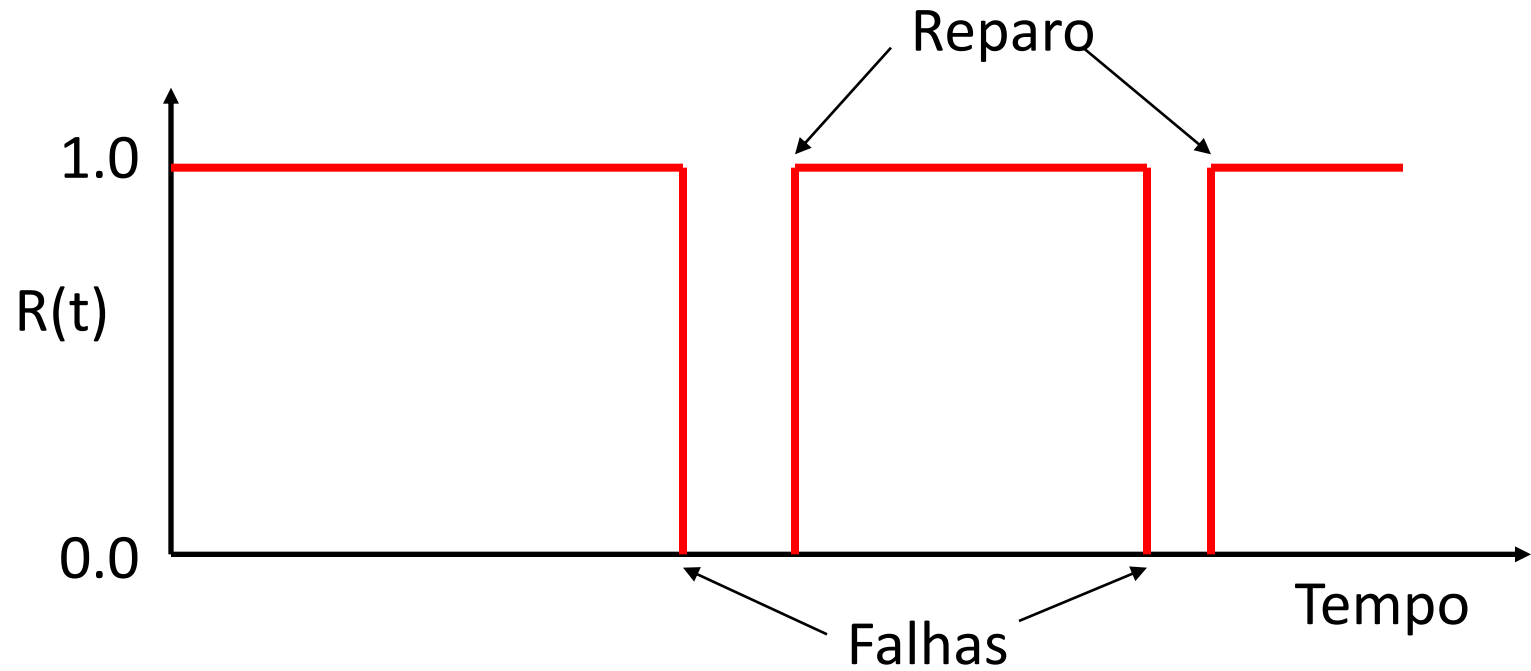
- Probabilidade de um componente falhar no intervalo $[t , t + dt]$ **dado que** o mesmo componente estava operando no instante t

$$z(t) = \frac{F(t + dt) - F(t)}{R(t) dt} = - \frac{1}{R(t)} \frac{dF(t)}{dt} = \frac{f(t)}{R(t)}$$



- Tempo médio até ocorrência de falha; obtido pela média da vida útil de uma população de N elementos similares (Vida Média)





- MTTR (“Mean Time to Repair”) = Tempo médio para reparo
- MTBF (“Mean Time Between Failures”) = Tempo médio entre falhas (MTBF = MTTF + MTTR)
- Disponibilidade (“Availability”):

$$D = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

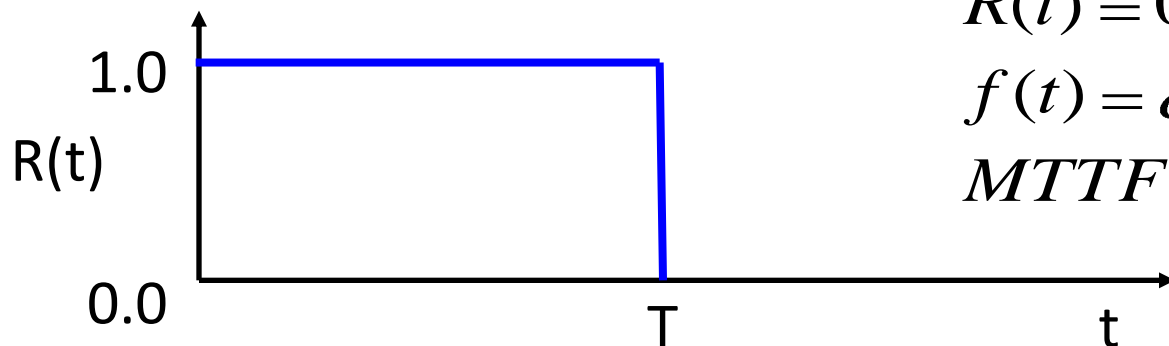
| D | Indisponibilidade anual |
|------------|-------------------------|
| 90 % | 5 semanas |
| 99 % | 4 dias |
| 99,9 % | 9 horas |
| 99,99 % | 1 hora |
| 99,999 % | 5 minutos |
| 99,9999 % | 30 segundos |
| 99,99999 % | 3 segundos |

Ex.: Indisponibilidade da rede elétrica (DIC) = 20 h/ano (max)

$$\rightarrow D = 1 - 20 / (24 \times 365) = > 99,8 \%$$

Distribuição Retangular

- Aplica-se a componentes em que há esgotamento progressivo de um ingrediente essencial (ex.: combustível, emissão iônica, eletrólitos)



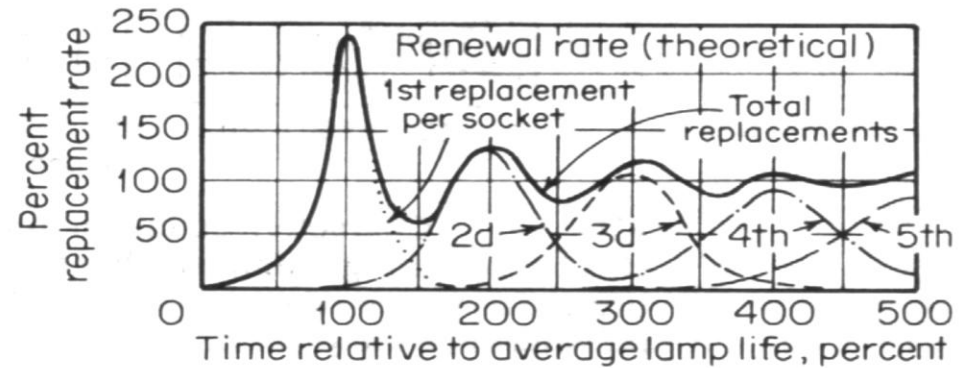
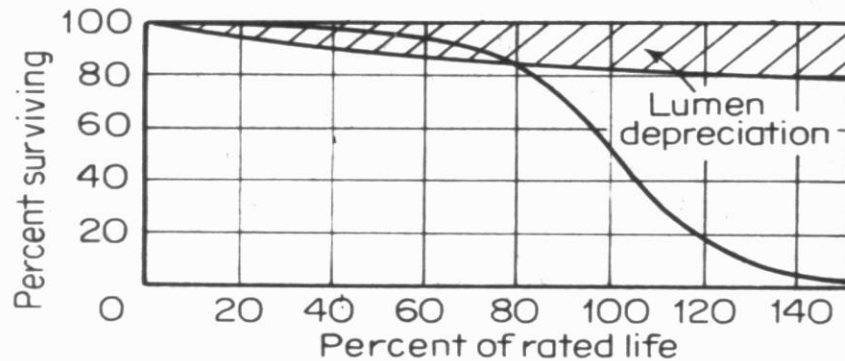
$$R(t) = 1 \quad 0 \leq t < T$$

$$R(t) = 0 \quad t \geq T$$

$$f(t) = \delta(T)$$

$$MTTF = T$$

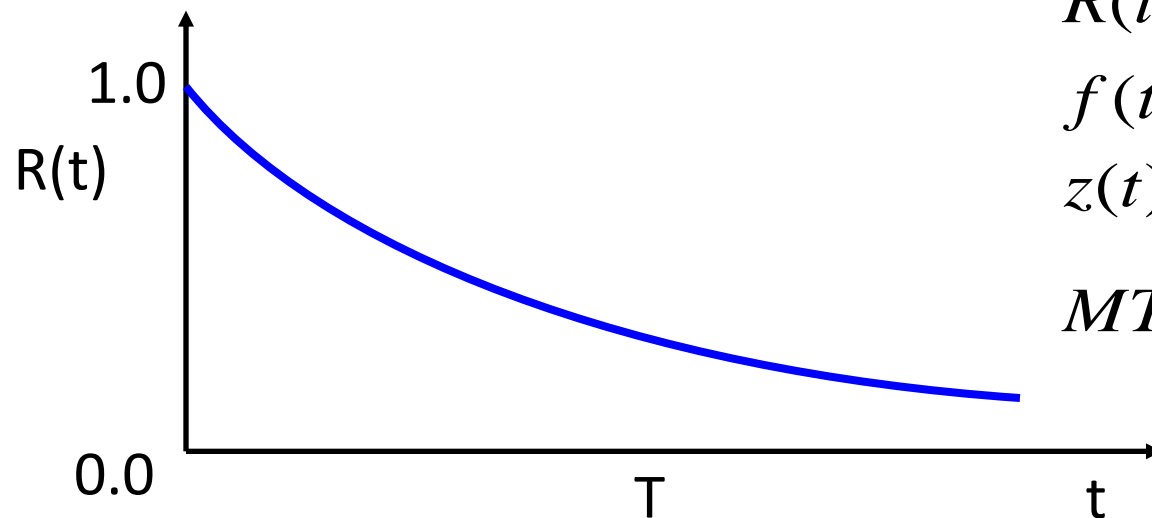
- Ex.: Lâmpadas



- Vida útil: ~1000 hs (incandescente); 10000 hs (fluorescente)

Distribuição Exponencial

- Taxa de Falhas constante; modela falhas aleatórias, independentes do tempo



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

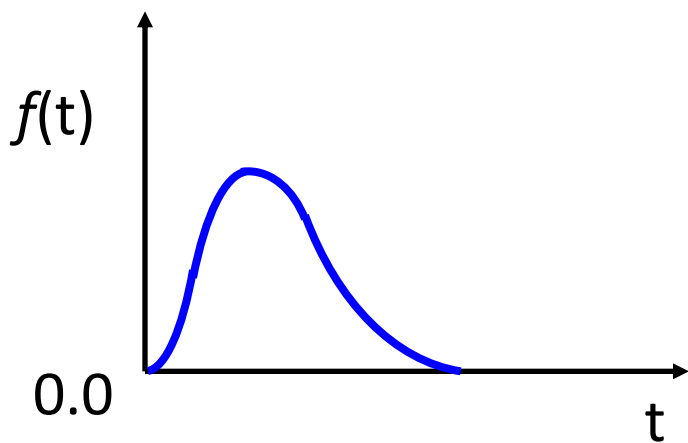
$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

$$z(t) = \lambda$$

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

Distribuição Log-Normal

- Modelamento de processos físicos de fadiga mecânica (propagação de fissuras, falhas estruturais, etc.); desgastes em geral



$$R(t) = \int_0^t \frac{1}{\mu \sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(\ln u - \mu)^2}{\sigma^2}\right] du$$

$$f(t) = \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)^2\right]$$

- 1 **FIT** (Failure In Time) = 1 falha por dispositivo em 1 bilhão de horas

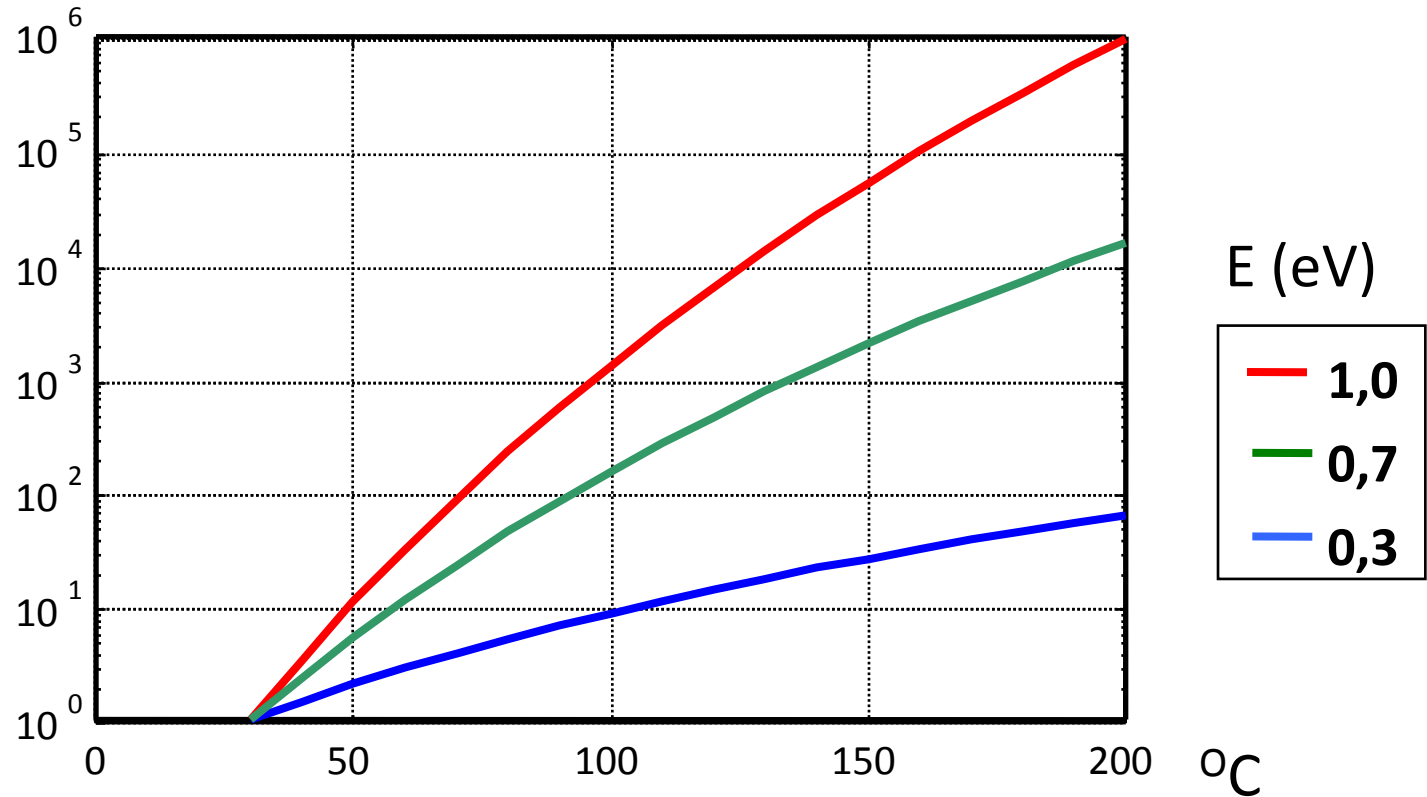
| Componente | λ (FIT) |
|-------------------------------|-----------------|
| Resistores | 5 - 500 |
| Capacitores Eletrolíticos | 200 - 2000 |
| Diodos de sinal | 50 |
| Circuitos Integrados CMOS LSI | 5 - 50 |
| Relês | 30 - 1000 |
| Conectores (por pino) | 50 - 100 |

- $\lambda_M = \lambda \times f_T \times f_E \times f_R$
- f_T = Fator de Temperatura
- f_E = Fator Ambiental
- f_R = Fator de Dimensionamento
- Outros fatores (ciclo térmico, radiação, etc.)

- Modelo de Arrhenius para velocidade de reações químicas

$$f_T = \exp\left(\frac{E}{k} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_A}\right)\right)$$

- E = Energia de Ativação ($\sim 0,7$ eV p/ semicondutores)
- k = Constante de Boltzmann ($8,62 \times 10^{-5}$ eV/K)
- T_0 = Temperatura de referência (K)
- T_A = Temperatura de operação (K)



| Tipo de Defeito | E (eV) |
|---------------------------------|---------|
| Defeitos no Óxido | 0,3 |
| Defeitos no Substrato (Silício) | 0,3 |
| Eletromigração | 0,6 |
| Contatos Metálicos | 0,9 |
| Carga Superficial | 0,5~1,0 |
| Micro-fissuras | 1,3 |
| Contaminação | 1,4 |

| Tipo de Ambiente | f_E |
|-------------------------------|-------------------------|
| Estacionário, ar condicionado | 0,5 |
| Estacionário, normal | 1,0 |
| Equipamento portátil | 1,5 |
| Móvel, automotivo | 2,0 |
| Aviação civil | 1,5 |
| Aviação militar | 4,0 |
| Marítimo | 2,0 |

| Sobre / sub-dimensionamento | f_R |
|--------------------------------------|-------|
| Resistores, 10% da potência máxima | 1,0 |
| Resistores, 100% da potência máxima | 1,5 |
| Resistores, 200% da potência máxima | 2,0 |
| Capacitores, 10% da tensão máxima | 1,0 |
| Capacitores, 100% da tensão máxima | 3,0 |
| Capacitores, 200% da tensão máxima | 6,0 |
| Semicondutores, 10% da pot. nominal | 1,0 |
| Semicondutores, 100% da pot. nominal | 1,5 |
| Semicondutores, 200% da pot. nominal | 2,0 |

- Fator de Maturidade Tecnológica

$f_L = 1.0$ (tecnologia estabelecida)

= 10 (tecnologia nova)

- Fator de Qualidade

$f_Q = 0,5$ (componente homologado)

= 1.0 (componente padrão)

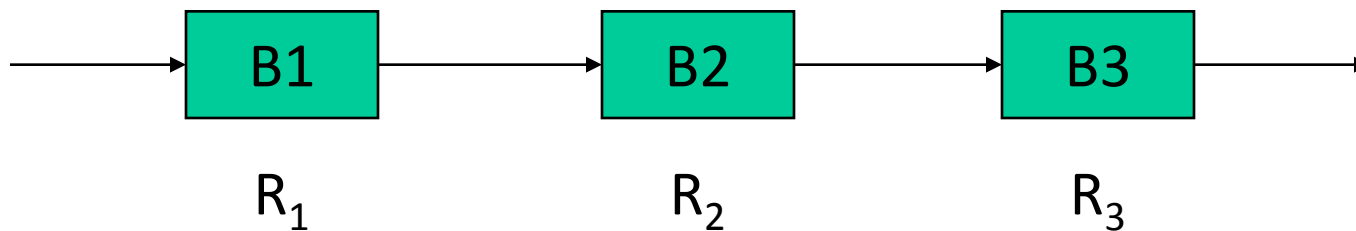
= 3 ~ 30 (componente comercial / origem duvidosa)

Confiabilidade de um Sistema

Redundância

Configuração Série:

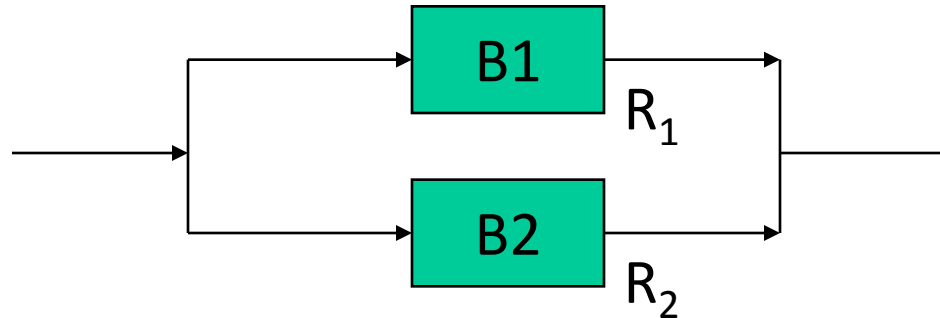
- O sistema opera se todos os blocos (partes) estiverem operando.



$$R_S = R_1 \times R_2 \times R_3 \text{ (se estatisticamente independentes)}$$

Configuração Paralela:

- O sistema opera se pelo menos um bloco estiver operando.



$$R_p = 1 - (1 - R_1) \times (1 - R_2) \quad (\text{se estatisticamente independentes})$$

$$R_S(t) = \prod_{i=1}^n R_i$$

supondo $R_i(t) = \exp\left[-\int z_i(u)du\right]$

temos $R_S(t) = \exp\left\{-\int \left[\sum_{i=1}^n z_i(u)\right] du\right\}$

Se $R_S(t) \rightarrow 1$, ou seja $R_S(t) = (1 - \varepsilon)$,

e $R_i(t) = R_j(t)$, devemos ter $R_i(t) = \sqrt[n]{1 - \varepsilon} \approx 1 - \frac{\varepsilon}{n}$

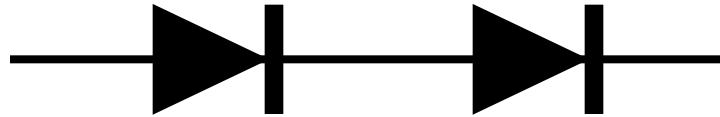
se $z_i(t)$ é constante, $z_i(t) = \lambda_i$

então
$$R_S(t) = \exp\left(-\sum_{i=1}^n \lambda_i t\right)$$

portanto
$$MTTF_S = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$$

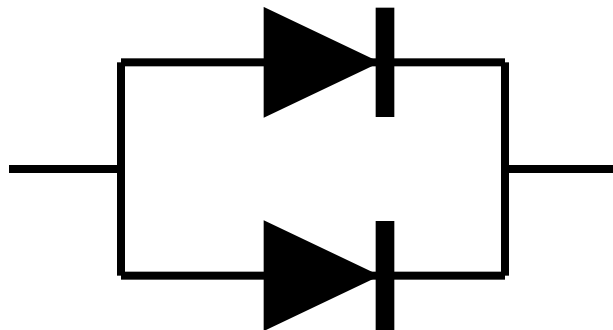
(falhas estatisticamente independentes, sistema série)

- Ex.: 2 Diodos em Série



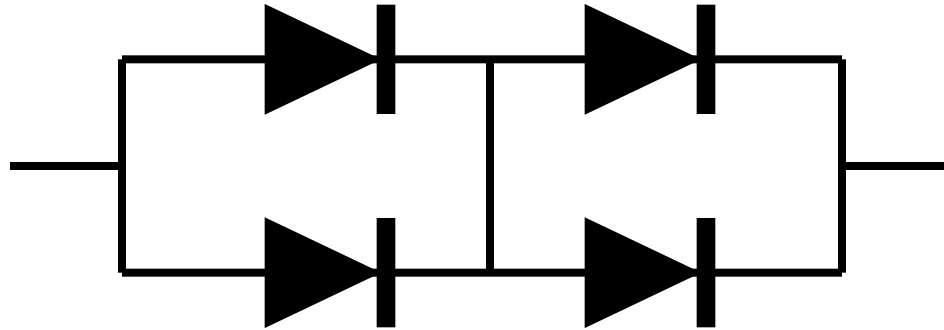
- Se os diodos falharem em aberto, o sistema é uma configuração série.
- Se falharem em curto, a configuração é paralela.

- 2 Diodos em Paralelo



- Se os diodos falharem em curto, o sistema é uma configuração série.
- Se falharem em aberto, a configuração é paralela.

- 4 Diodos em Paralelo / Série

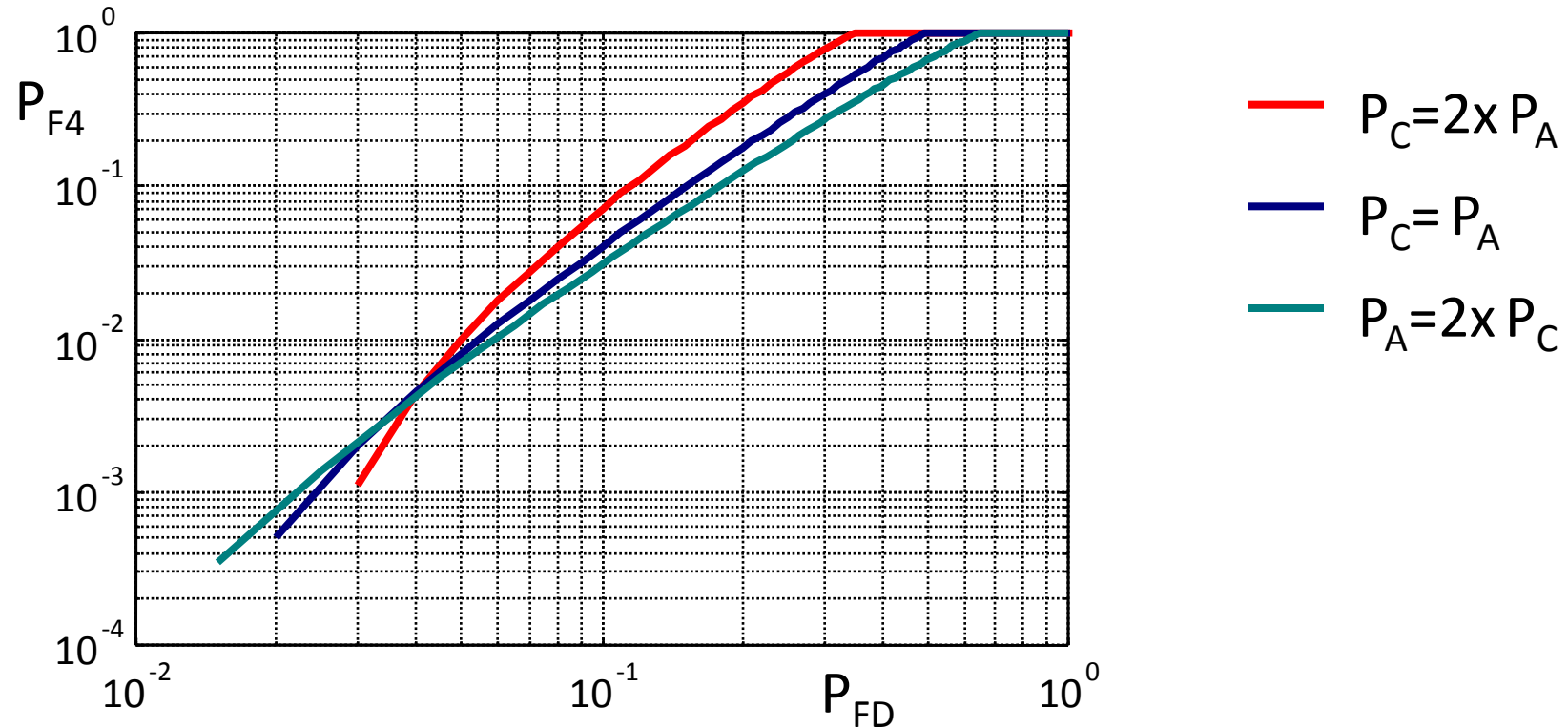


| | | | | | | | | | | | |
|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| | | N | N | N | A | A | A | C | C | C | D3 |
| | | N | A | C | N | A | C | N | A | C | D4 |
| N | N | | | | | | | | | | |
| N | A | | | | | | | | | | |
| N | C | | | | | | | | | | |
| A | N | | | | | | | | | | |
| A | A | | | | | | | | | | |
| A | C | | | | | | | | | | |
| C | N | | | | | | | | | | |
| C | A | | | | | | | | | | |
| C | C | | | | | | | | | | |
| D1 | D2 | | | | | | | | | | |

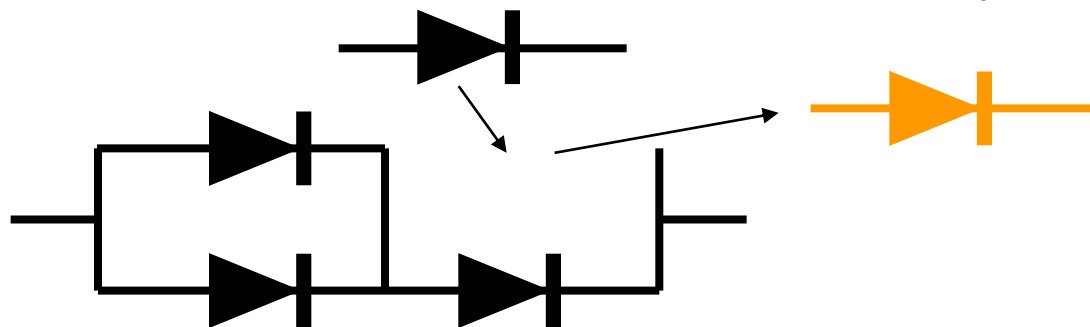
N = Normal
A = Aberto
C = Curto

Falha

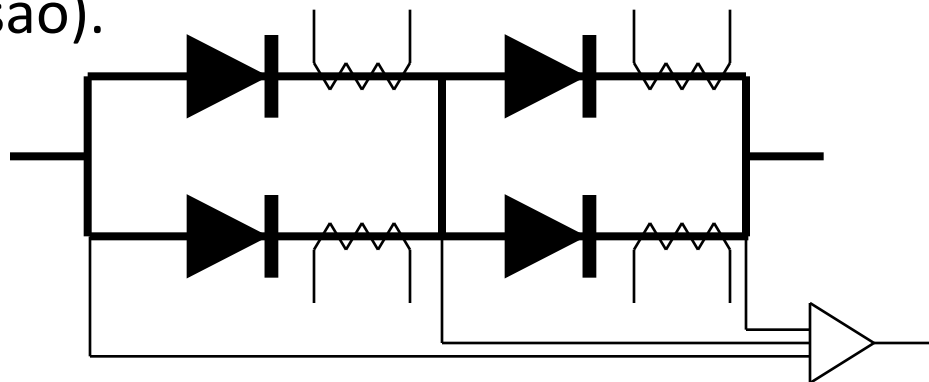




- Considerando a manutenção, a taxa de falhas será 4 vezes maior que a de um diodo.
- Há vantagem se o componente defeituoso puder ser substituído sem desativar o sistema completo, reduzindo assim o MTTR (modularidade, “*hot swap*”).

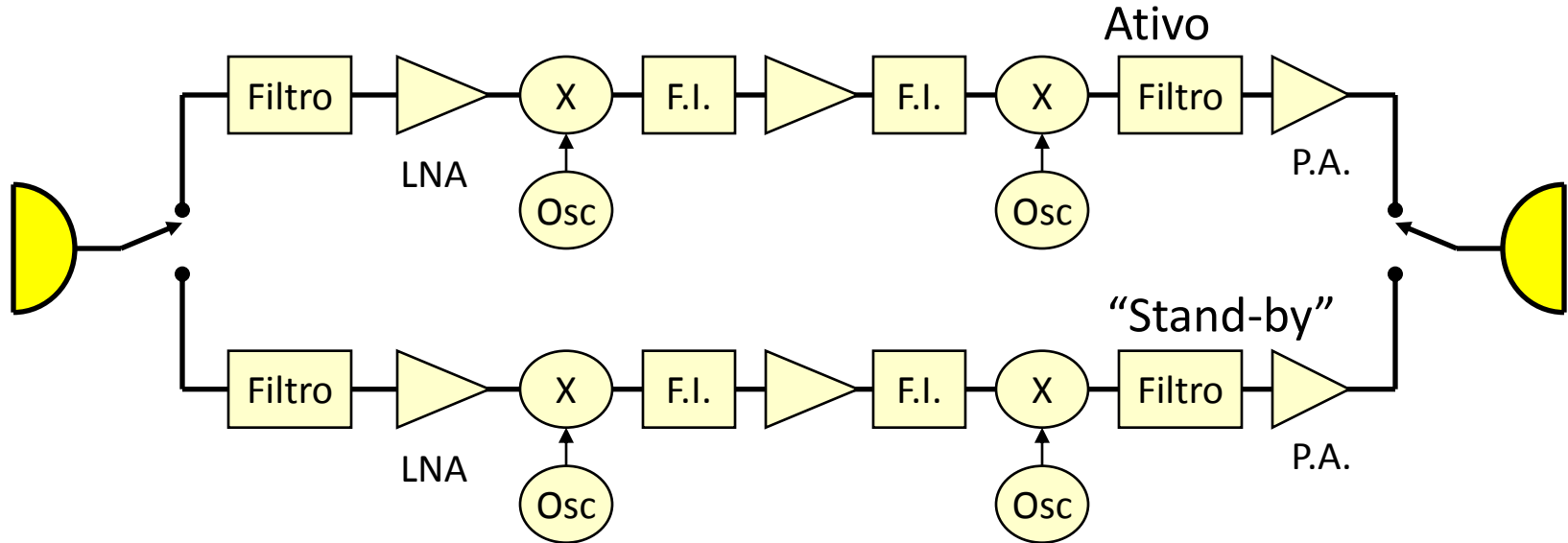


- Há a necessidade de monitoração para detectar falhas não catastróficas do conjunto (sensores de corrente e tensão).



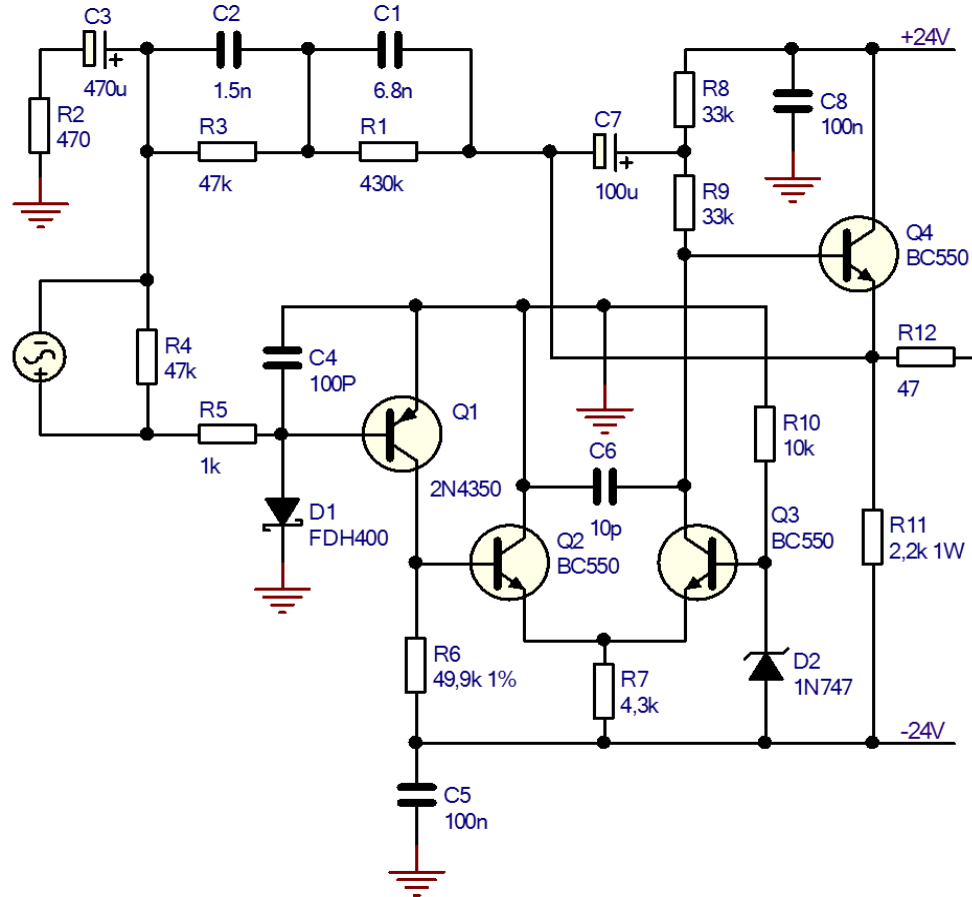
- Circuitos de monitoração acrescentam componentes que podem falhar, criando alarmes falsos.

- Ex.: Transponder de Satélite



- Utilizar o menor número possível de componentes
- Dimensionar os componentes com margem de segurança adequada
- Distribuir a confiabilidade por todos os componentes (evitar pontos fracos)

Exemplo: Cálculo de MTTF

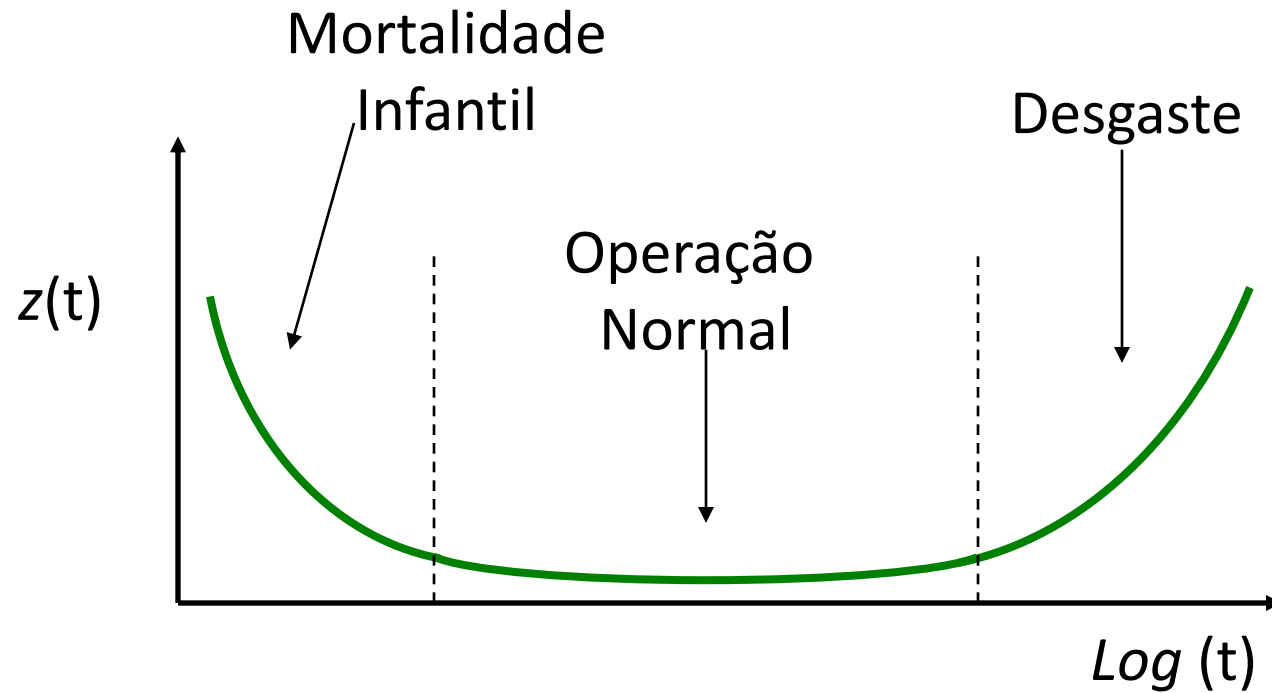


| Tipo de Componente | Quant. | FIT unitário | FIT Total |
|----------------------------|--------|--------------|-------------|
| Resistor Genérico 5% | 10 | 200 | 2000 |
| Resistor Filme Metálico 1% | 1 | 50 | 50 |
| Resistor Carbono 1 W | 1 | 100 | 100 |
| Capacitor Plástico | 2 | 100 | 200 |
| Capacitor Cerâmico | 4 | 100 | 400 |
| Capacitor Eletrolítico | 1 | 2000 | 2000 |
| Transistor Silício < 1W | 4 | 80 | 320 |
| Diodo Zener | 1 | 100 | 100 |
| Diodo Sinal | 1 | 50 | 50 |
| Conexões soldadas | ~ 60 | 10 | 600 |
| Total | | | 5920 |

$$MTTF = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} = \frac{10^9}{FIT_{TOT}} = \frac{10^9}{5920} \approx 170.000h \text{ (20 anos)}$$

- Falhas estatisticamente independentes
- Sistema Série
- Sem considerar fatores de dimensionamento
- Sem considerar fatores modais
- 30% da taxa de falhas é devida ao capacitor eletrolítico

Comportamento Real de Sistemas: Análise de Falhas



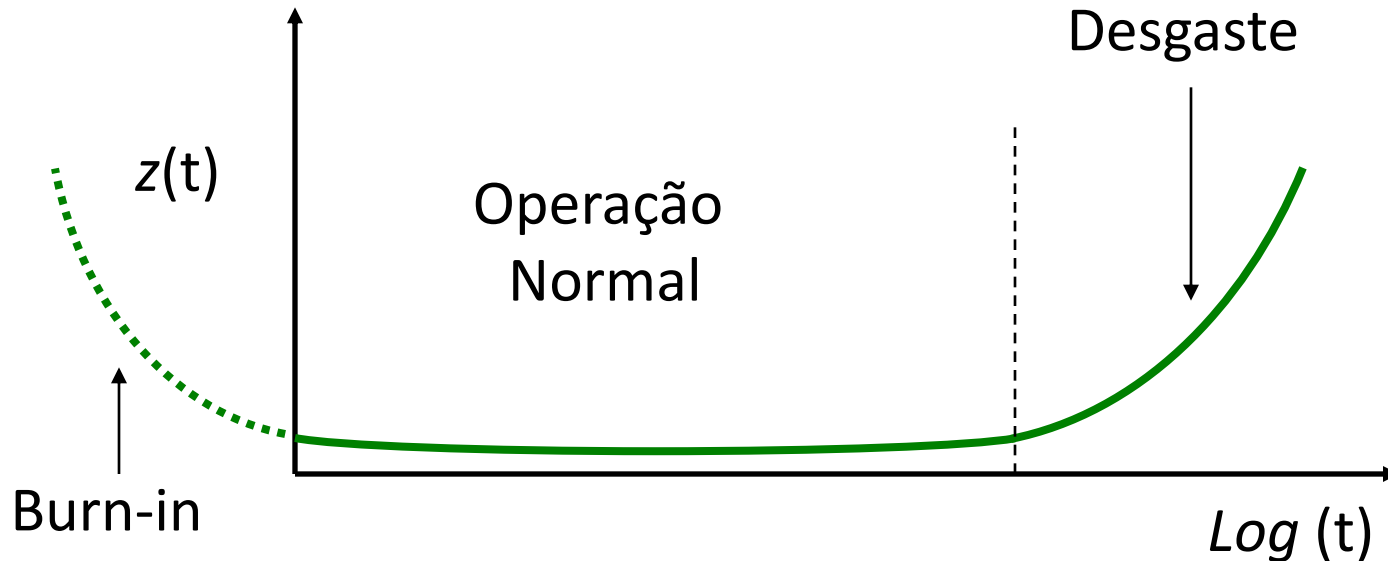
- Controle de Qualidade inadequado
- Falhas nos processos de fabricação
- Dimensionamento inadequado dos componentes
- Características deficientes dos materiais
- Manuseio e embalagem inadequados
- Procedimentos de montagem incorretos
- Testes incompletos

- Defeitos latentes nos componentes
- Margens de Projeto inadequadas
- Esforços elétricos, físicos ou térmicos
- Agentes ambientais externos

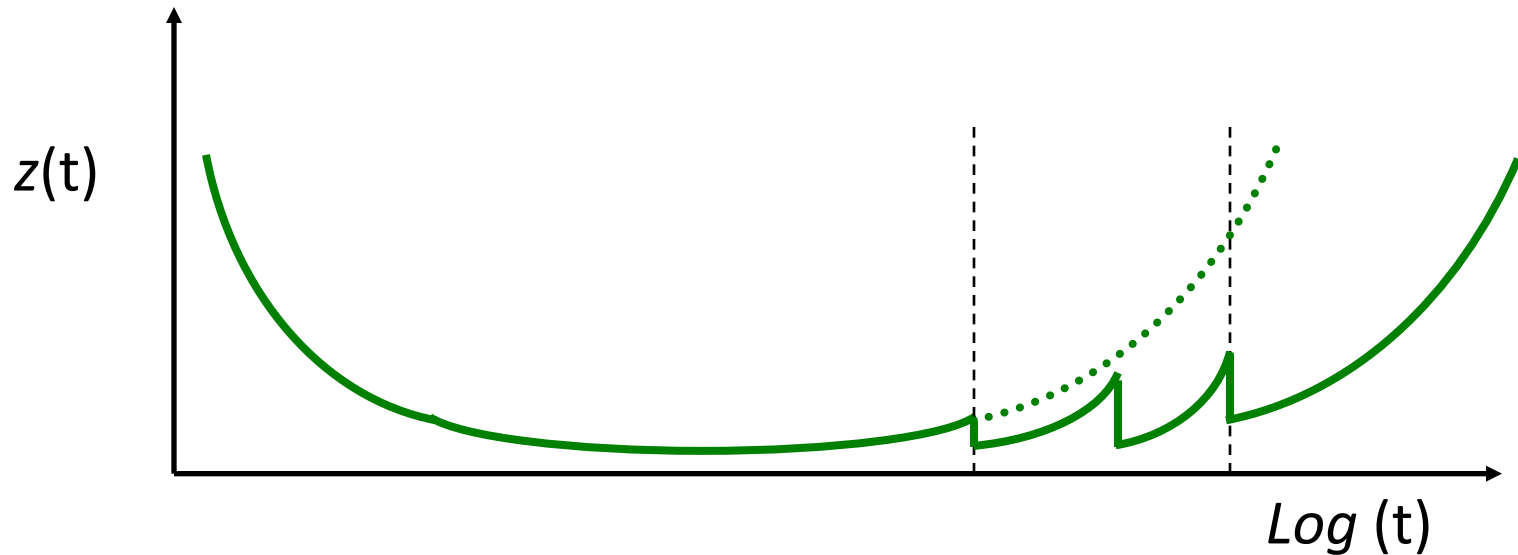
- Oxidação, corrosão
- Desgaste mecânico
- Falhas de isolação em dielétricos
- Fissuras, fadiga, ruptura de material
- Acúmulo de poeira, umidade, contaminação
- Migração metálica



- Operação do sistema por um período equivalente à mortalidade infantil, antes da entrega para uso normal

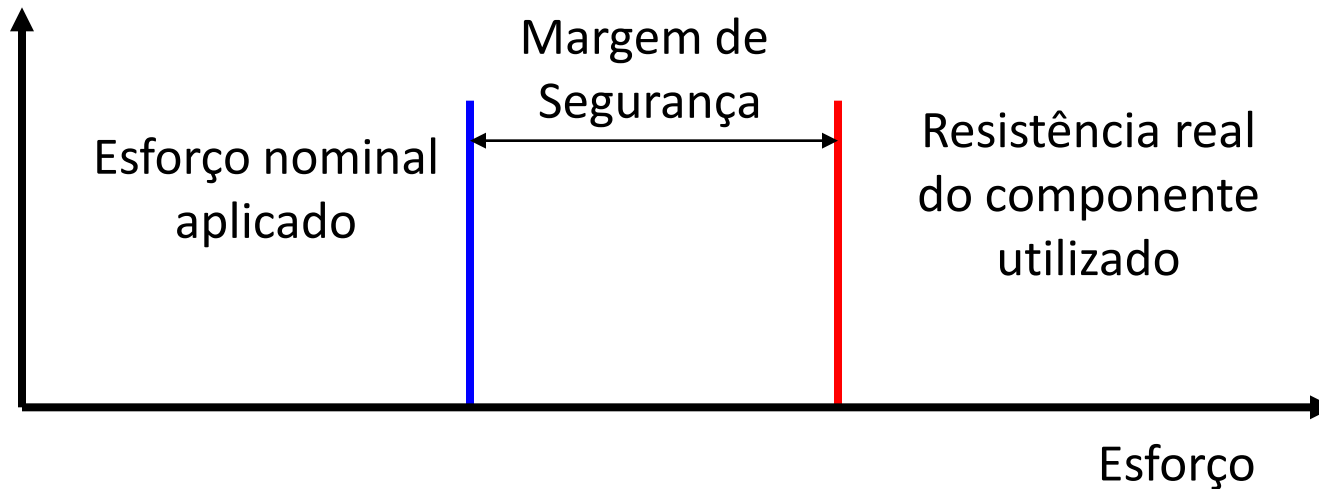


- Substituição de componentes entrando na fase de desgaste, mesmo que não apresentem falhas

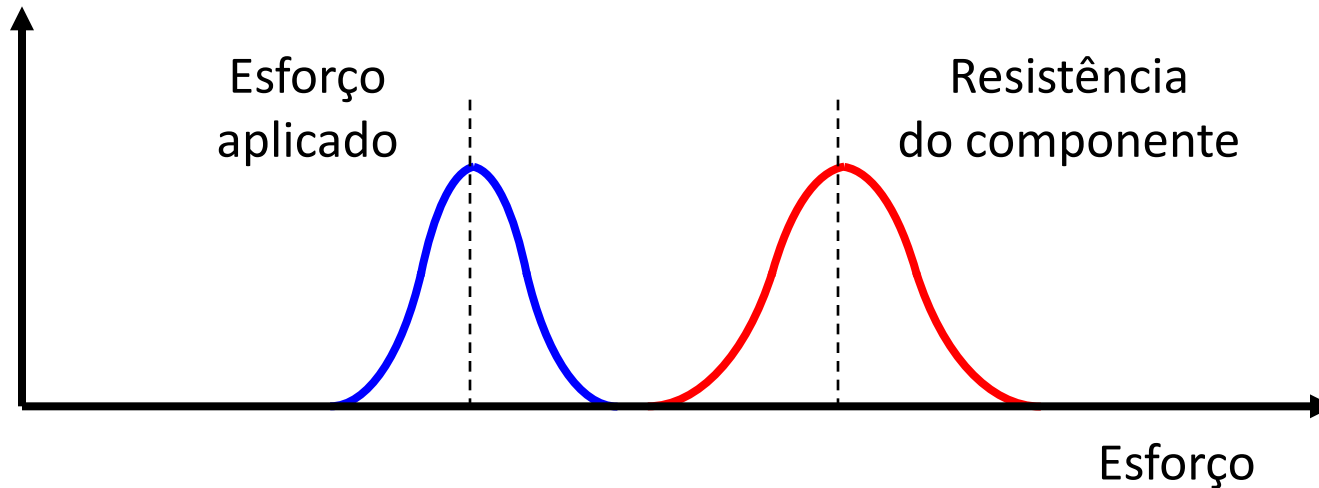


“Teoria do Defeito”

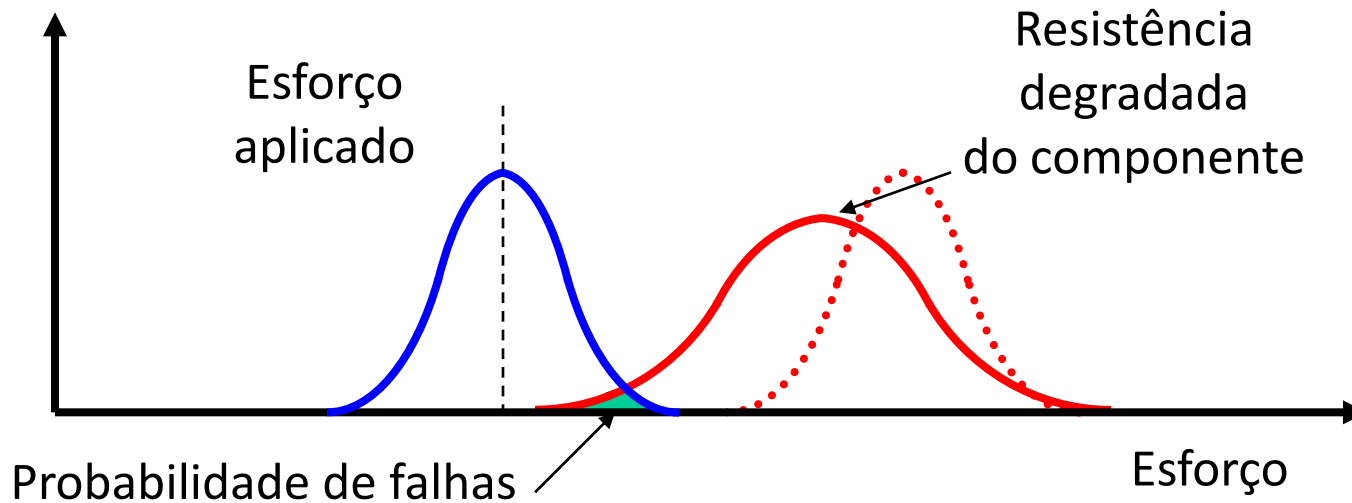
- Capacidade do componente deve ser maior que o esforço a que é submetido



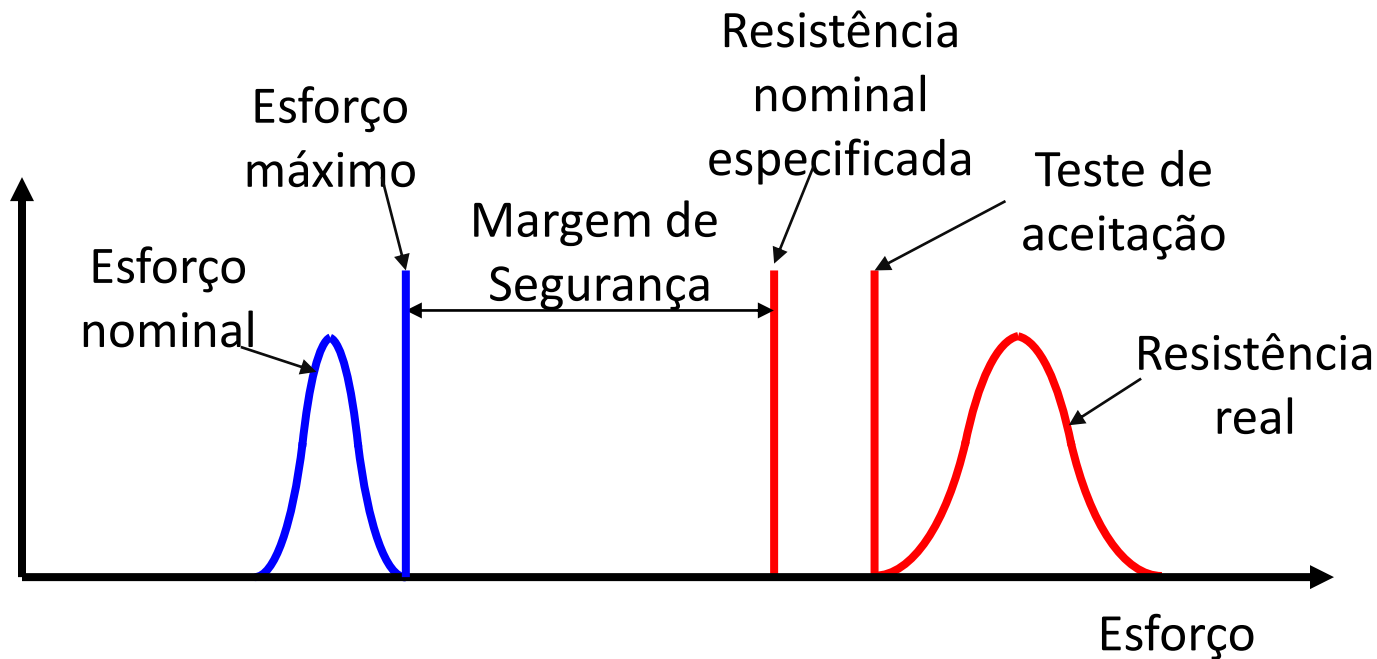
- Propriedades dos componentes e das condições de uso possuem dispersão



- Esforço aplicado (físico, elétrico, mecânico) excede a resistência do componente



- Dimensionamento na prática:



- **Semicondutores e resistores de potência** (sujeitos a ciclos térmicos, altas tensões, temperaturas e correntes)
- **Capacitores eletrolíticos** (baixo MTTF inicial, podem estar sujeitos a altas correntes)
- **Conectores, contatos** (sujeitos a desgaste mecânico, corrosão)

Modos de Falha em Componentes Eletrônicos

- Reações químicas (contaminação, umidade, corrosão)
- Difusão de materiais diferentes entre si
- Eletromigração (densidades de corrente elevadas)
- Propagação de fissuras (vibração, fadiga mecânica, ciclos térmicos em materiais com coeficientes de dilatação diferentes)
- Ruptura secundária (afunilamento de corrente devido a coeficiente térmico negativo)
- Ruptura dielétrica por ionização

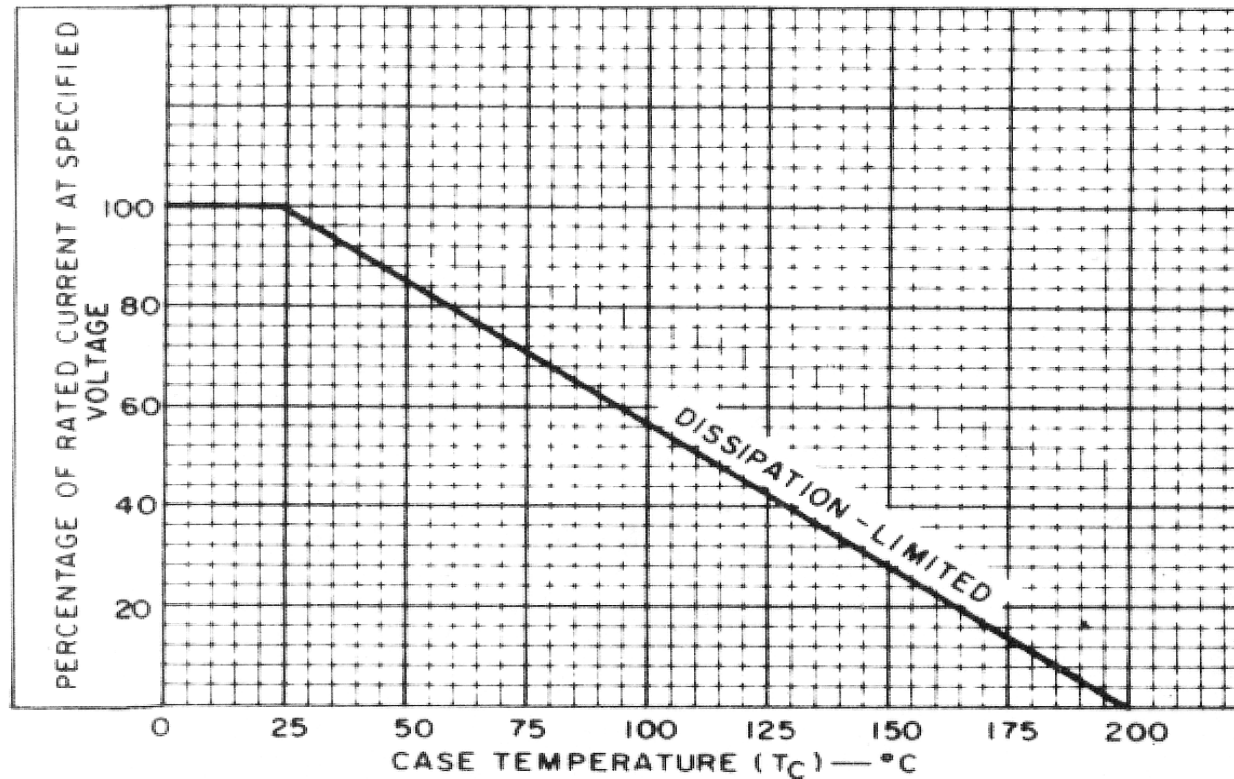
- Falhas Mecânicas
 - Solda dos terminais no semicondutor
 - Solda do substrato no encapsulamento
 - Difusão entre metais diferentes
 - Falhas de encapsulamento (hermeticidade)

- Defeitos Superficiais
 - Imperfeições na estrutura cristalina
 - Falhas na metalização
 - Corrosão por gás liberado em altas temperaturas
 - Corrosão por umidade aprisionada ou penetrando por falhas no encapsulamento

- Falhas Estruturais
 - Defeitos e fissuras no substrato
 - Impurezas no material
 - Falhas de difusão
 - Responsáveis por falhas de desgaste (fim da vida útil)

- Ex.: Transistor de Potência 2N3055

| | |
|-----------|--------|
| V_{CBO} | 100 V |
| V_{CEO} | 70 V |
| I_C | 15 A |
| P_{TOT} | 115 W |
| T_J | 200 °C |



92CS-22434

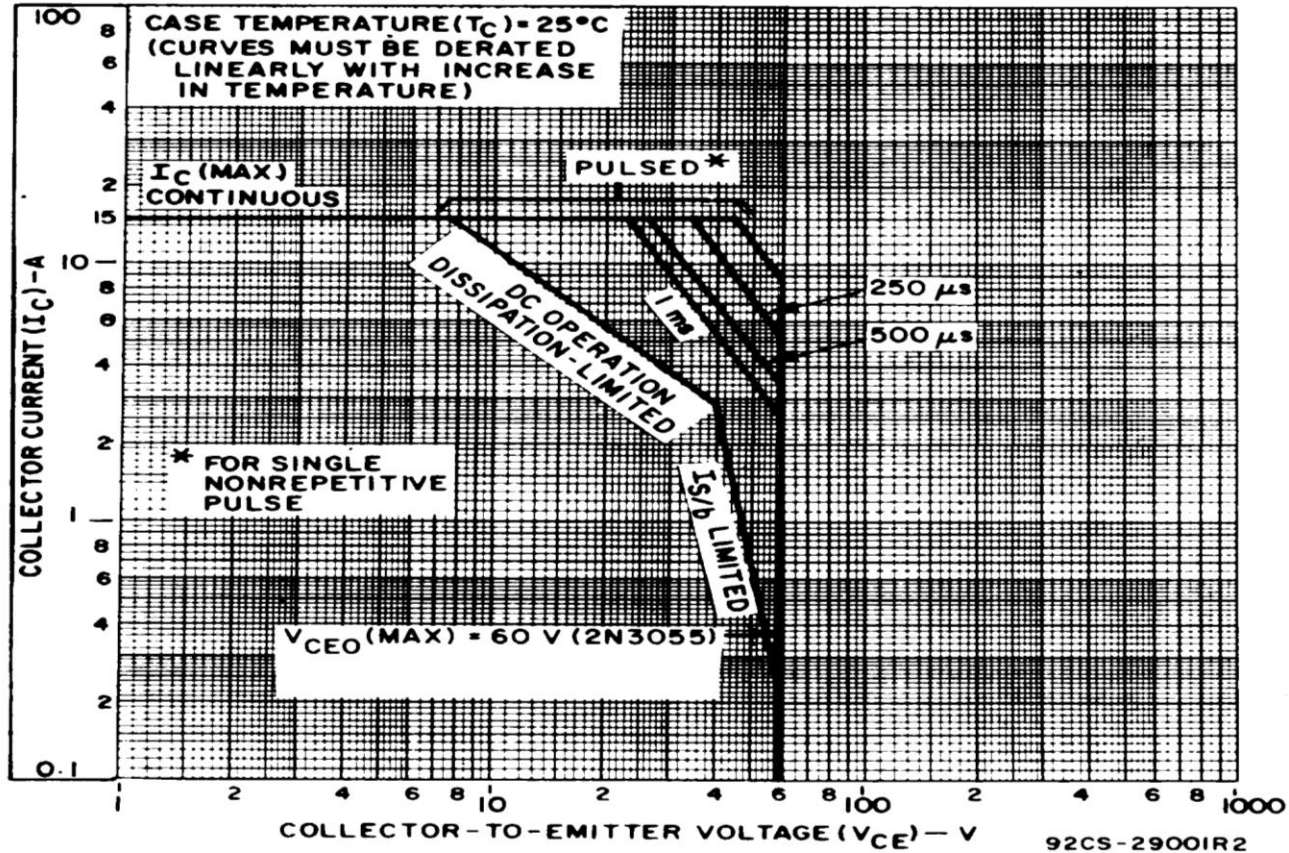
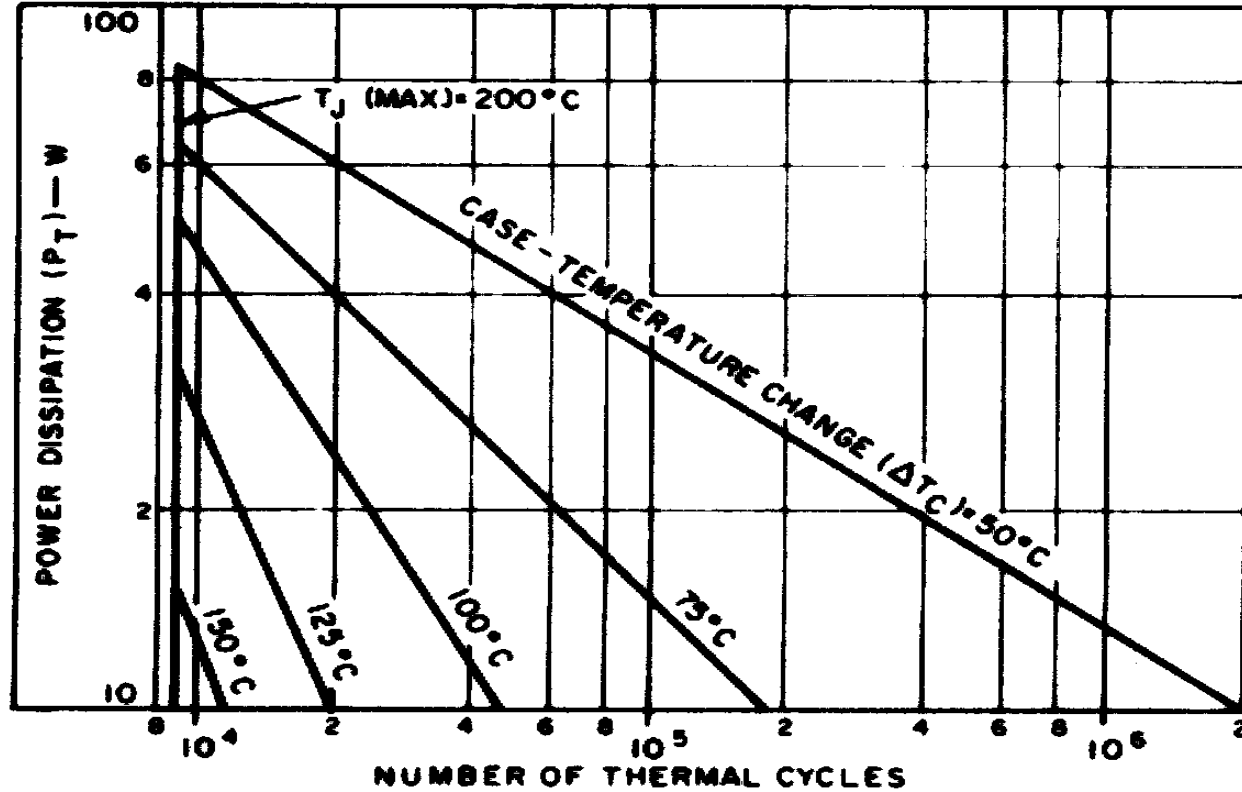


Fig. 9 — Maximum operating areas for 2N3055.



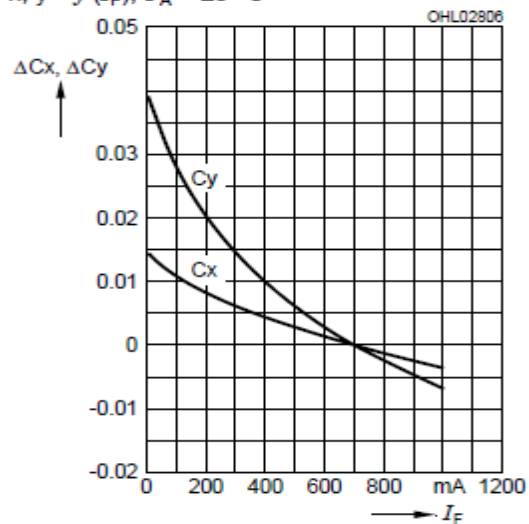
92CS-20673

| Tipo | Modo de Falha | Porcentagem |
|---------------------------------|------------------------------|--------------------|
| Transistor Bipolar | Curto | 75 % |
| | Aberto | 25 % |
| FET | Curto | 50 % |
| | Mudança de Parâmetros | 40 % |
| | Aberto | 10 % |
| Transistor de RF | Mudança de Parâmetros | 50 % |
| | Curto | 40 % |
| | Aberto | 10 % |
| FET de Arseneto de Gálio | Aberto | 60 % |
| | Curto | 25 % |
| | Mudança de Parâmetros | 15 % |

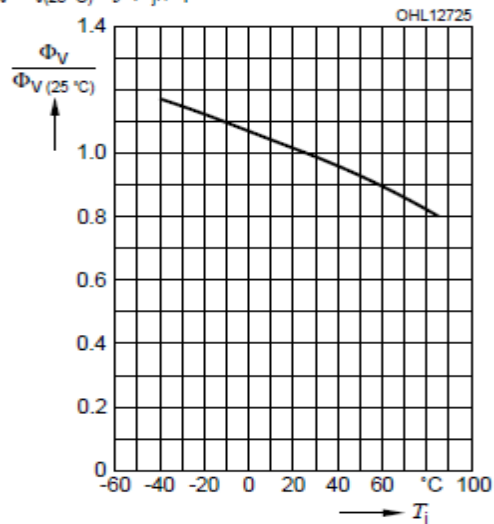
| Tipo | Modo de Falha | Porcentagem |
|----------------|-----------------------|-------------|
| Retificador | Curto | 50 % |
| | Aberto | 30 % |
| | Mudança de Parâmetros | 20 % |
| Diodo de Sinal | Mudança de Parâmetros | 60 % |
| | Aberto | 25 % |
| | Curto | 15 % |
| SCR | Curto | 98 % |
| | Aberto | 2 % |
| Zener | Mudança de Parâmetros | 70 % |
| | Aberto | 20 % |
| | Curto | 10 % |

| Tipo | Modo de Falha | Porcentagem |
|-----------------|-------------------------|-------------|
| Memória RAM | Perda de Velocidade | 80 % |
| | Erro de Bit | 20 % |
| C. I. MOS | Entrada Aberta | 35 % |
| | Saída Aberta | 35 % |
| | Alimentação Aberta | 10 % |
| | Saída em '0' Permanente | 10 % |
| | Saída em '1' | 10 % |
| C. I. Interface | Saída em '0' | 60 % |
| | Saída Aberta | 15 % |
| | Entrada Aberta | 15 % |
| | Alimentação Aberta | 10 % |

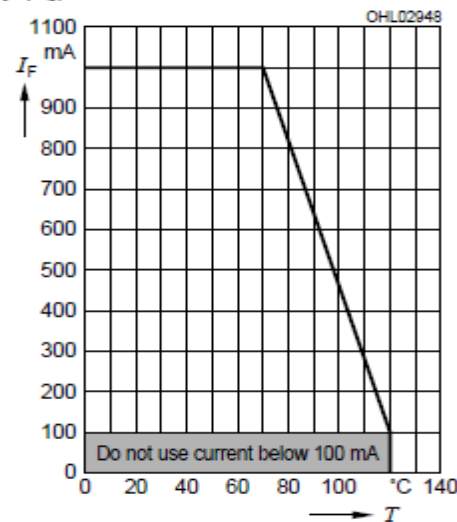
Chromaticity Coordinate Shift²⁾ page 15
 $x, y = f(I_F); T_A = 25^\circ\text{C}$



Relative Luminous Flux²⁾ page 15
 $\Phi_V / \Phi_{V(25^\circ\text{C})} = f(T_j); I_F = 700\text{ mA}$



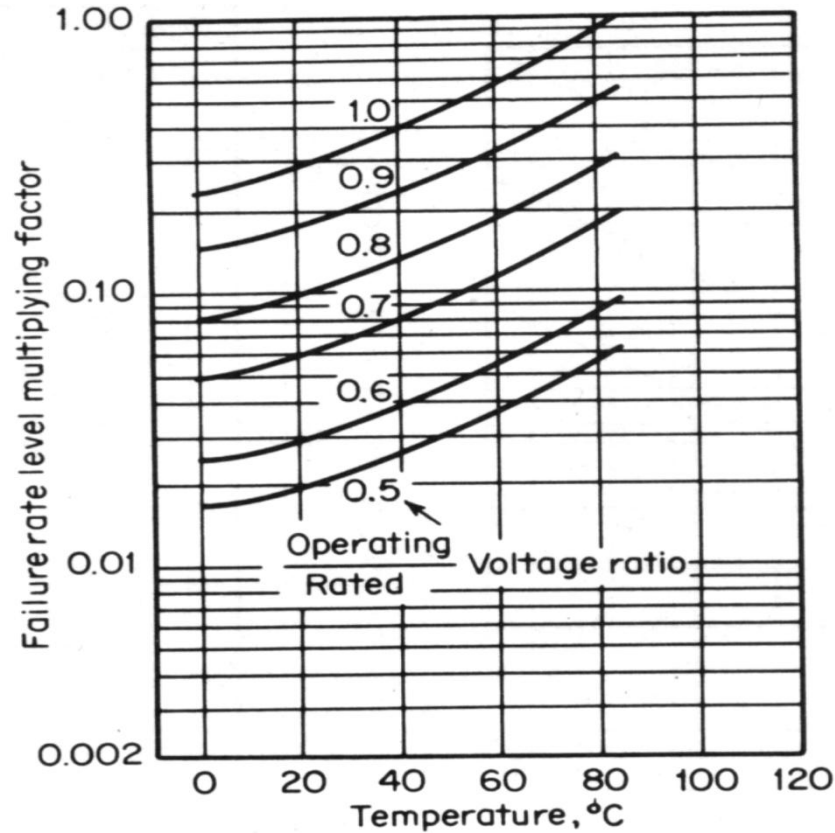
Max. Permissible Forward Current
 $I_F = f(T)$



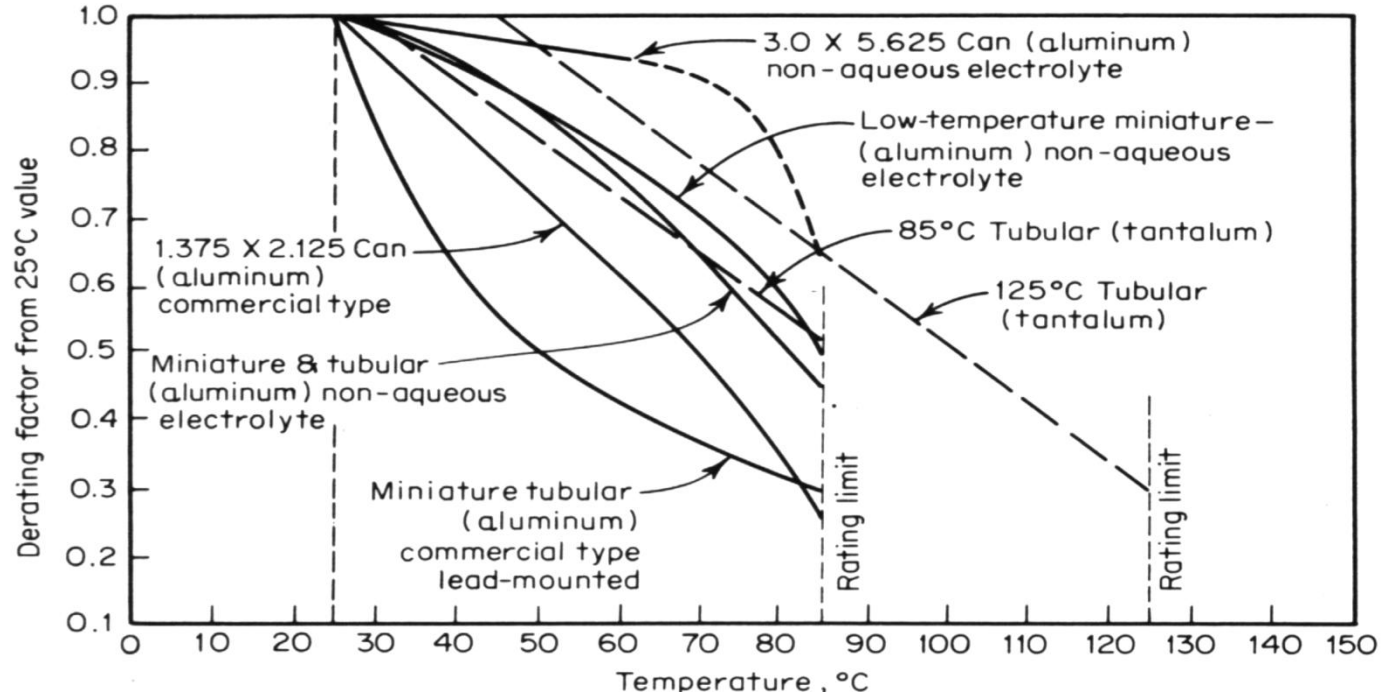
- Ex.: LED p/ Iluminação
OSRAM LWW5SN

| Corrente | T. Substrato | Vida Útil |
|----------|--------------|-----------|
| 500 mA | 25 °C | 25.000 h |
| 700 mA | 85 °C | 11.000 h |
| 700 mA | 125 °C | 1.000 h |

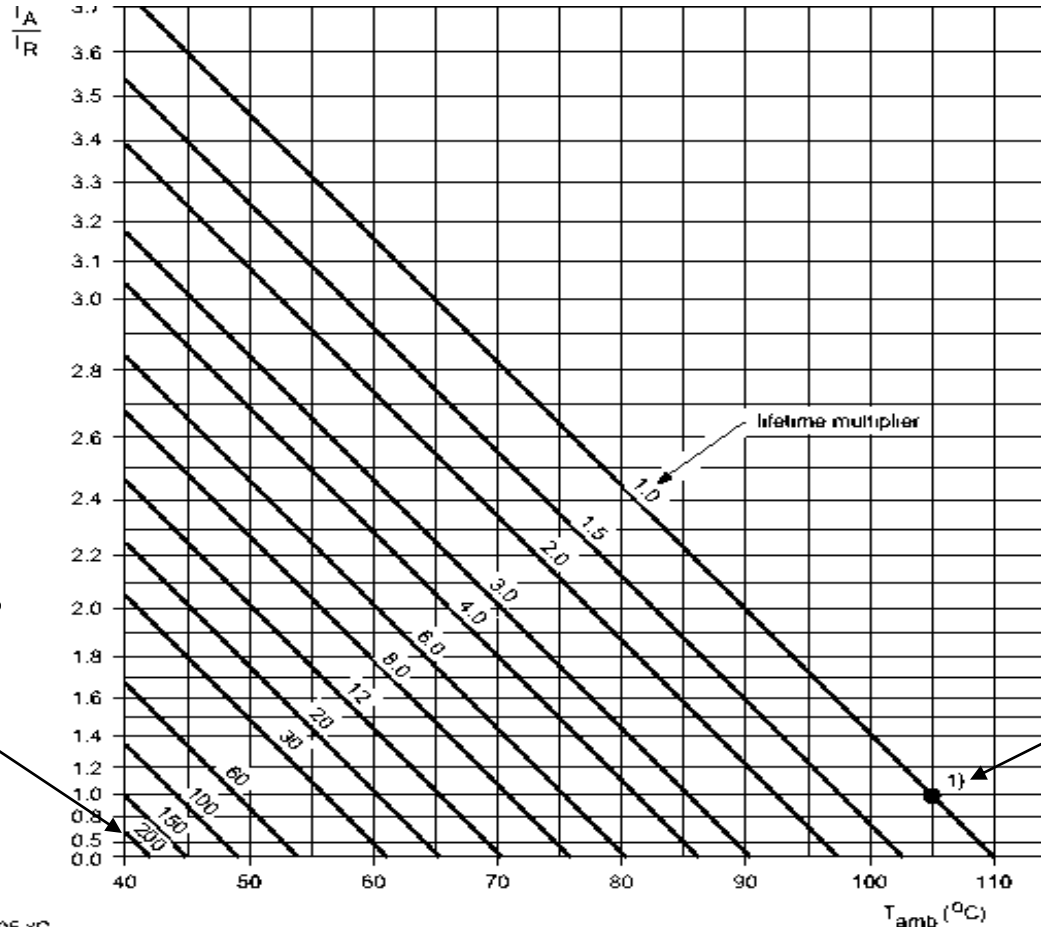
- Principais fatores de degradação da vida útil:
 - Voltagem
 - Temperatura
 - Corrente



Capacitores
Eletrolíticos
de Tântalo



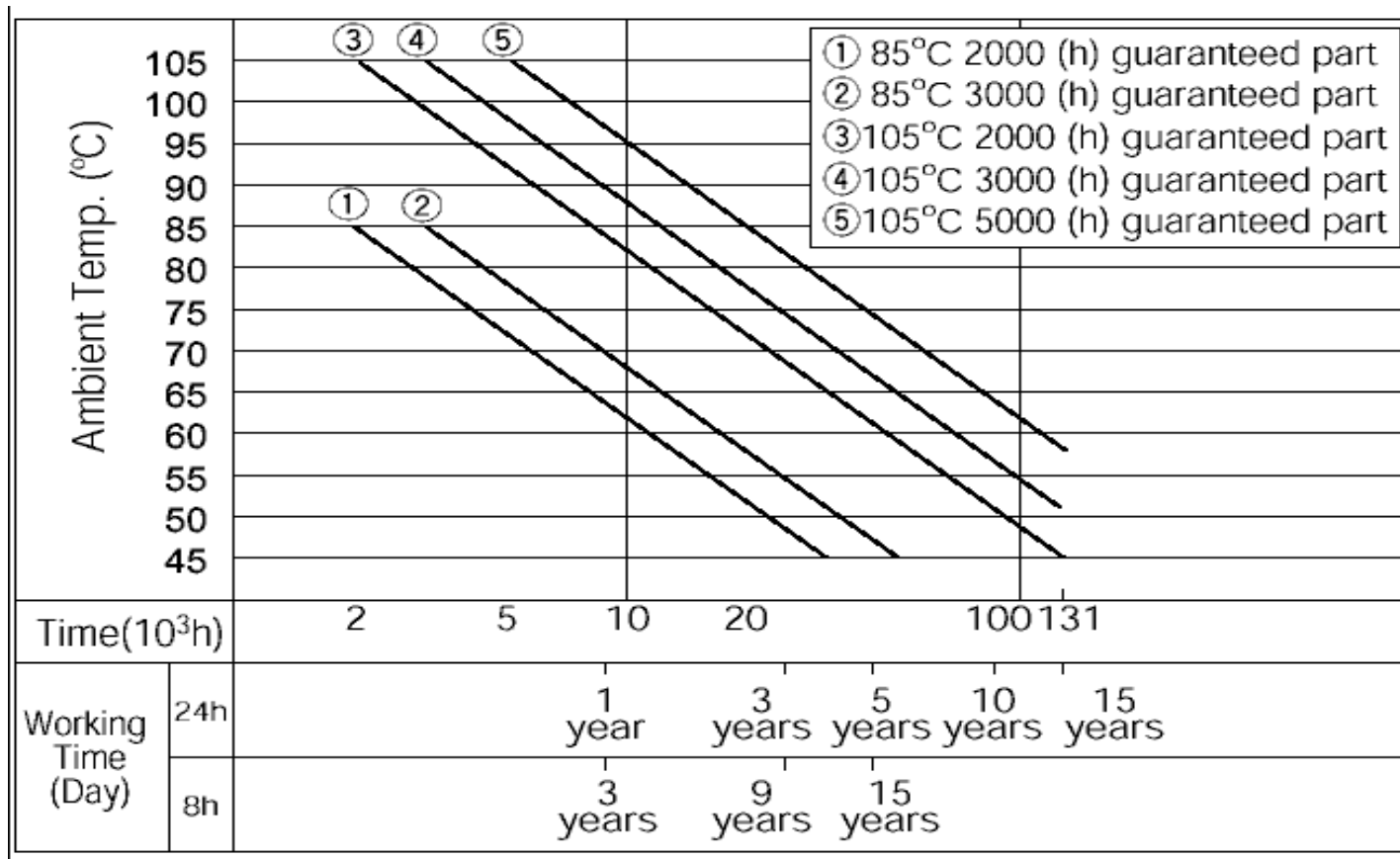
Corrente de “ripple” em Capacitores Eletrolíticos



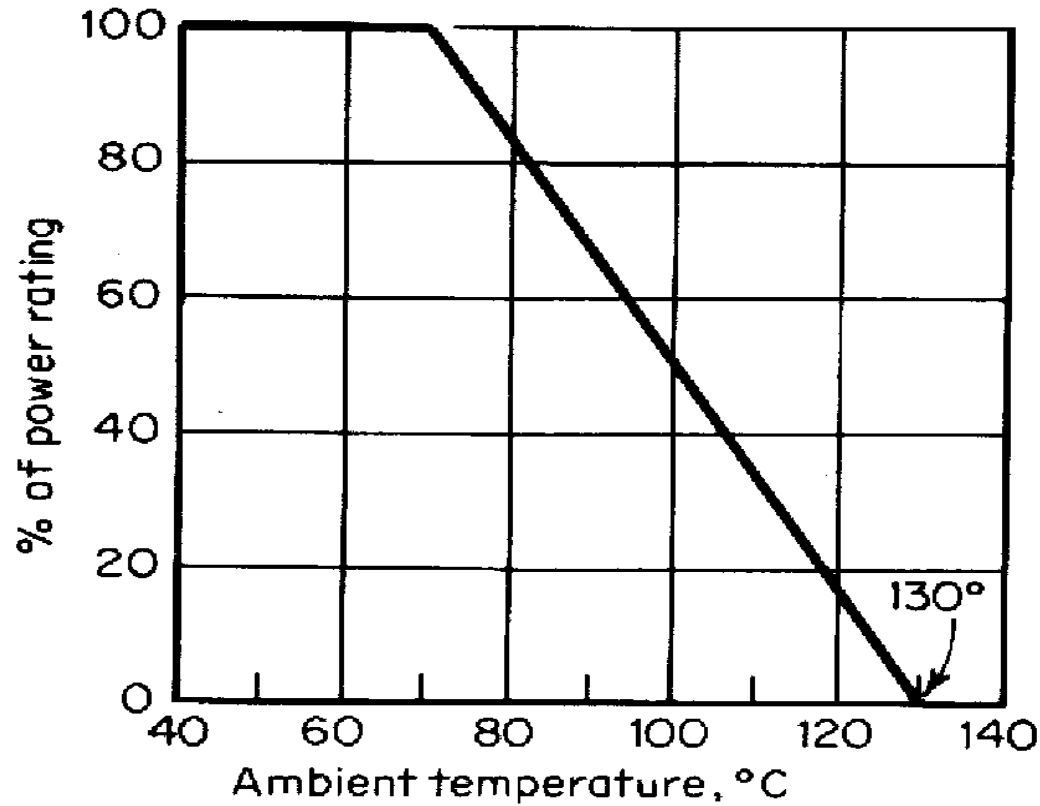
400.000 horas
(2500 FIT)

2000 horas
(500 k FIT)

I_A = actual ripple current at 100 Hz.
 I_R = rated ripple current at 100 Hz, 105 °C.

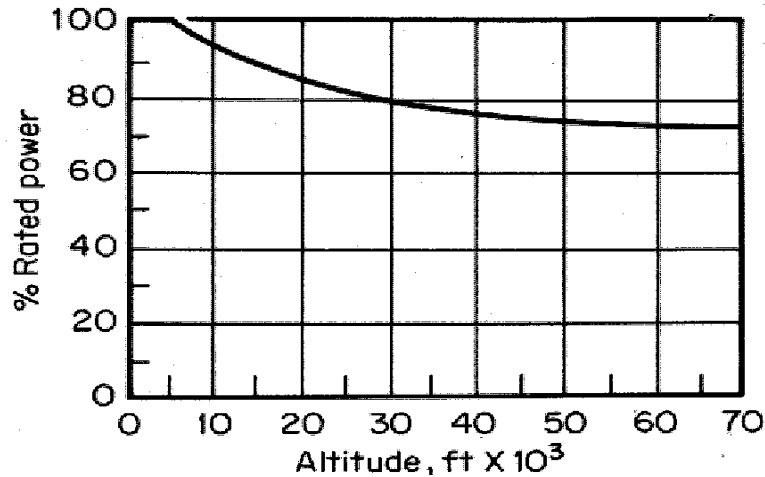


| Tipo | Modo de Falha | Porcentagem |
|---------------------------------|--------------------------------|--------------------|
| Eletrolítico de Alumínio | Curto | 50 % |
| | Aberto | 35 % |
| | Vazamento | 10 % |
| | Redução de Capacitância | 5 % |
| Cerâmico | Curto | 50 % |
| | Mudança de Valor | 30 % |
| | Aberto | 20 % |
| Plástico | Curto | 40 % |
| | Aberto | 40 % |
| | Mudança de Valor | 20 % |
| Tântalo | Curto | 70 % |
| | Aberto | 20 % |
| | Mudança de Valor | 10 % |

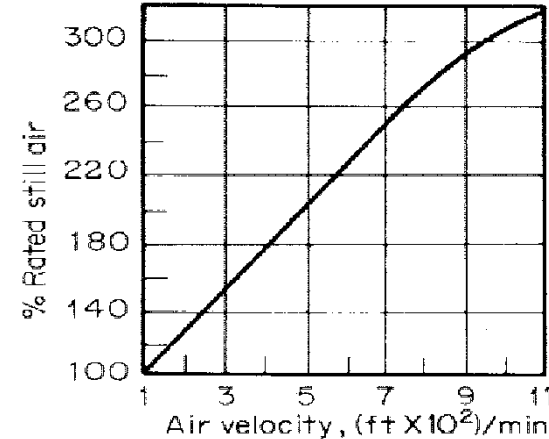


Depreciação da
potência
nominal
x
Temperatura
ambiente

Depreciação da potência nominal x altitude (pressão atmosférica)

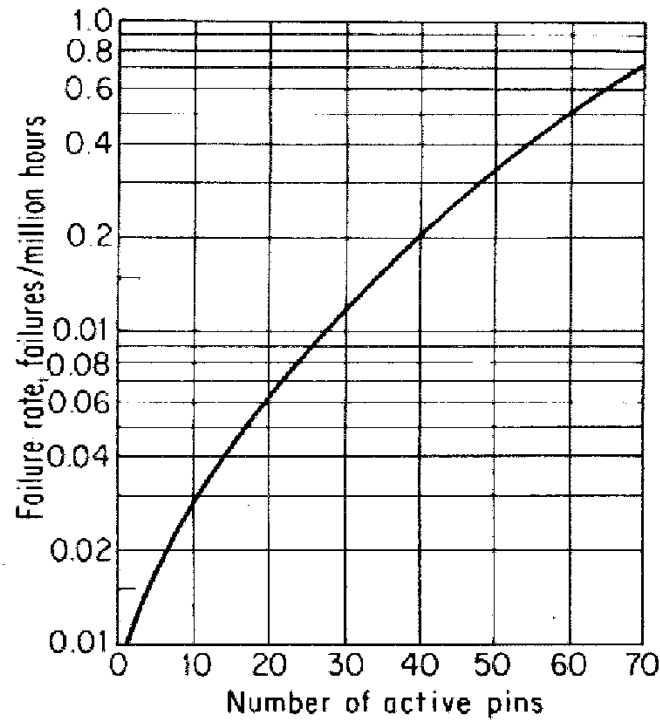


Aumento da potência nominal x velocidade do ar (ventilação forçada)

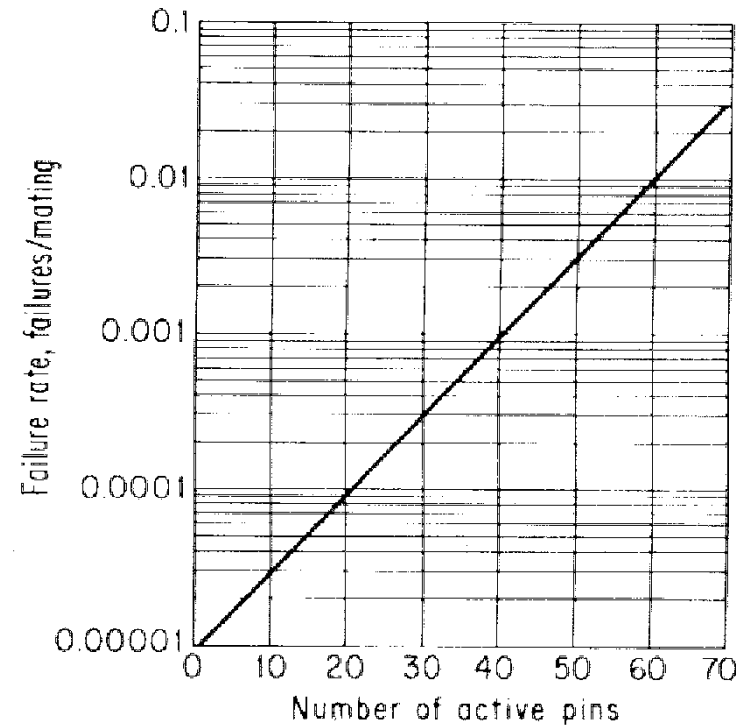


| Tipo | Modo de Falha | Porcentagem |
|---------------------------|-----------------------|-------------|
| Resistor Fixo | Aberto | 85 % |
| | Mudança de Valor | 10 % |
| | Curto | 5 % |
| Resistor de Filme | Aberto | 60 % |
| | Mudança de Valor | 35 % |
| | Curto | 5 % |
| Resistor de Fio | Aberto | 60 % |
| | Mudança de Valor | 25 % |
| | Curto | 10 % |
| Potenciômetro, Trimpot | Aberto | 55 % |
| | Mau Contato no Cursor | 40 % |
| | Curto | 5 % |

Taxa de Falhas λ

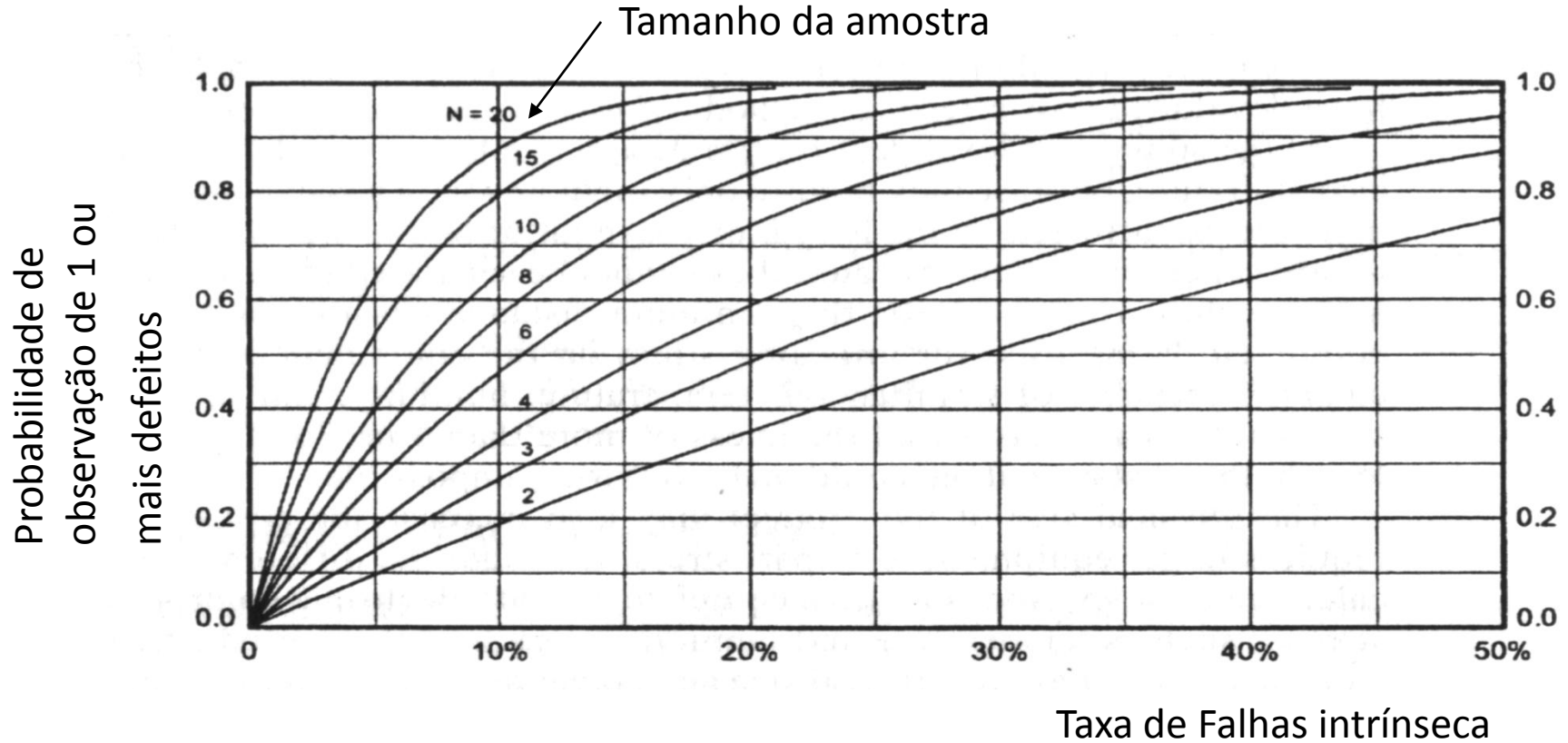


Falhas por conexão

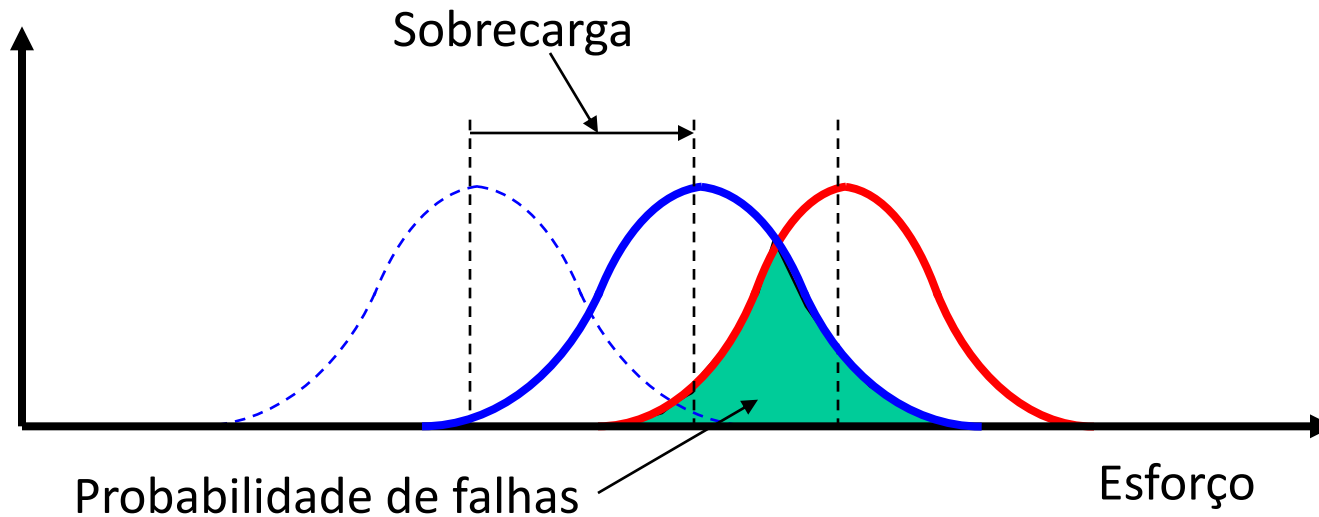


| Tipo | Modo de Falha | Porcentagem |
|--------------------|---------------------------------------|-------------|
| Conector | Aberto | 60 % |
| | Intermitente, Mau Contato | 25 % |
| | Curto | 15 % |
| Disjuntor | Abre abaixo da corrente nominal | 50 % |
| | Não abre acima da corrente de disparo | 50 % |
| Chave de Alavanca | Aberto | 65 % |
| | Travamento | 20 % |
| | Curto | 15 % |
| Botão, Tecla Tact. | Aberto | 60 % |
| | Travamento, Colagem | 20 % |
| | Curto | 20 % |

Determinação Experimental das Taxas de Falhas



- Aumentar artificialmente o esforço (temperatura, voltagem, vibração, etc.) para obter taxas de falha mensuráveis em tempo reduzido



- Temperatura elevada (ex.: 1000 hs @ 125 °C ou 16 hs a 300 °C)
- Choque térmico (ex.: 1000 ciclos, -65 °C a 125 °C)
- Umidade (ex.: 150 hs @120 °C, 100% R.H., 15 psi,)
- Vibração (2000 G, 0.5 ms ou 50 G, 20~2kHz)
- Centrífuga (20.000 G)
- Sobrealimentação (destrutivo ou não)
- Sobrecarga (ex.: 16 hs @ Tj=300 °C)

- Identificar riscos prioritários
- Detectar mecanismos de falha
- Determinar soluções para as causas
- Tomar ações corretivas nos processos produtivos
- Realimentar para as diretrizes de projeto.

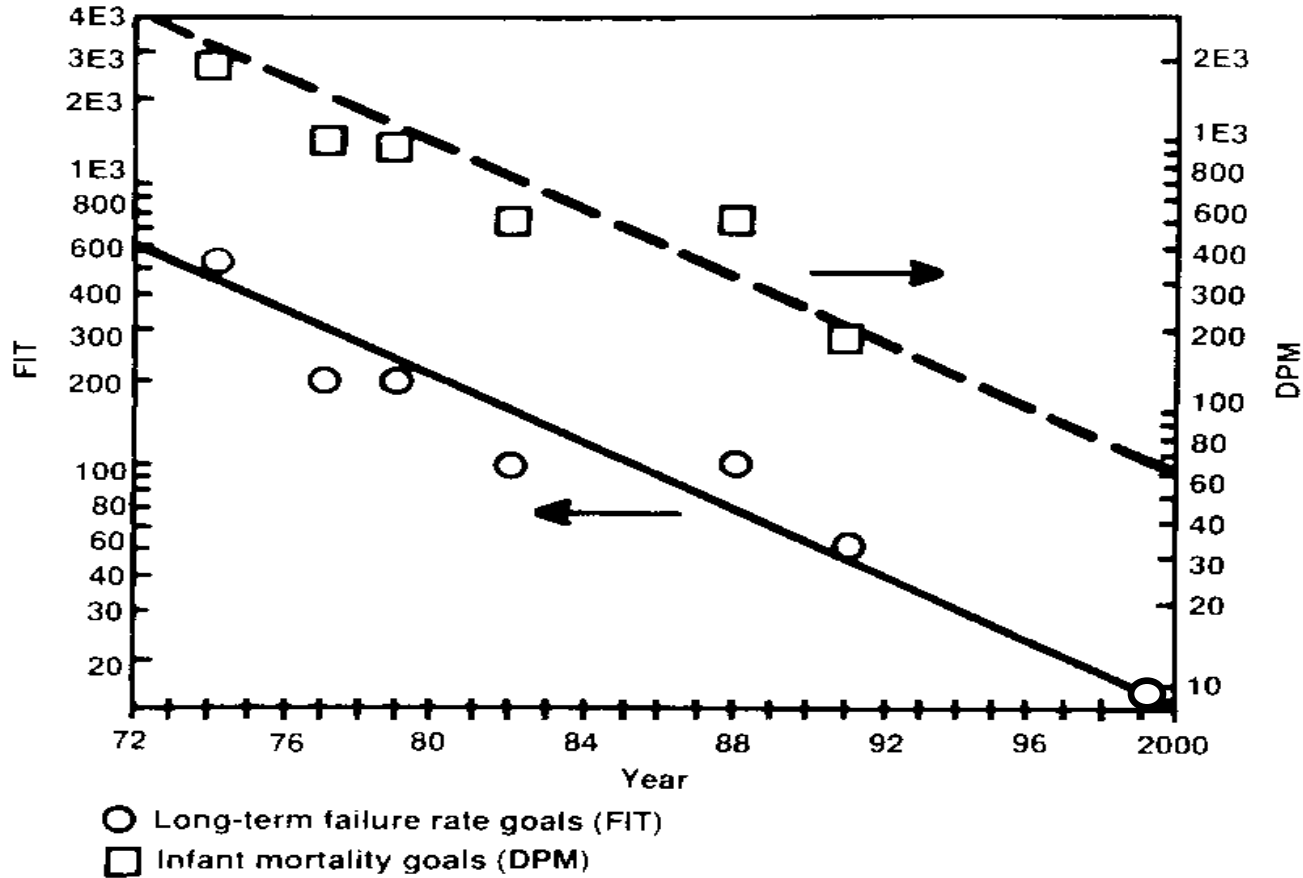
- A análise de confiabilidade (*a posteriori*) de uma população de componentes pode ser usada para prever o comportamento futuro (*a priori*) de componentes similares?

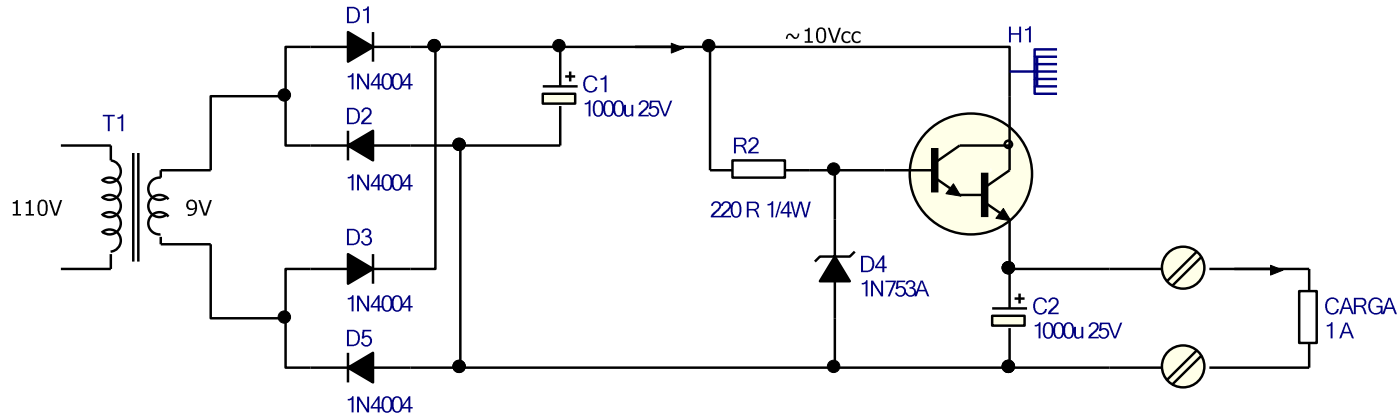
- Identificar componentes críticos
- Identificar margens de projeto inadequadas
- Comparar alternativas de implementação
- Reduzir custos evitando “excesso de qualidade”
- Verificar viabilidade de atingir um determinado MTTF
- Determinar tempo ideal para “Burn-in”
- Determinar a influência de fatores ambientais no MTTF

- Modelos não podem ser extrapolados para níveis elevados de sobrecarga
- Modelos para novos produtos e processos são imprecisos
- Fatores multiplicativos podem assumir valores irrealis ou indeterminados
- Mudanças de processos ou insumos podem alterar taxas de falhas dos componentes

- Ciclo de Análise de Falhas e Realimentação para Processos Produtivos pode ser muito demorado, e ultrapassar a vida útil do produto

- Conjunto de atitudes destinadas a aumentar a confiabilidade do produto
- Rastreamento e análise de falhas e suas causas
- Realimentação para Projeto, Processos e Materiais
- Avaliação, Análise, Correção e Verificação
 - “FRACAS” (*Failure Reporting, Analysis and Corrective Action System*)





CAPACITORES: Nichicon UVR1E102MPD

DISSIPADOR H1: 10 graus por Watt

TENSÃO MÉDIA EM C1: 10Vcc

TRANSISTOR: TIP141 (Texas, Fairchild, ST)

(Parafusado diretamente no dissipador)

TEMPERATURA AMBIENTE: ATÉ 50 Graus

CALCULAR: Tensões e Correntes, Potências Dissipadas

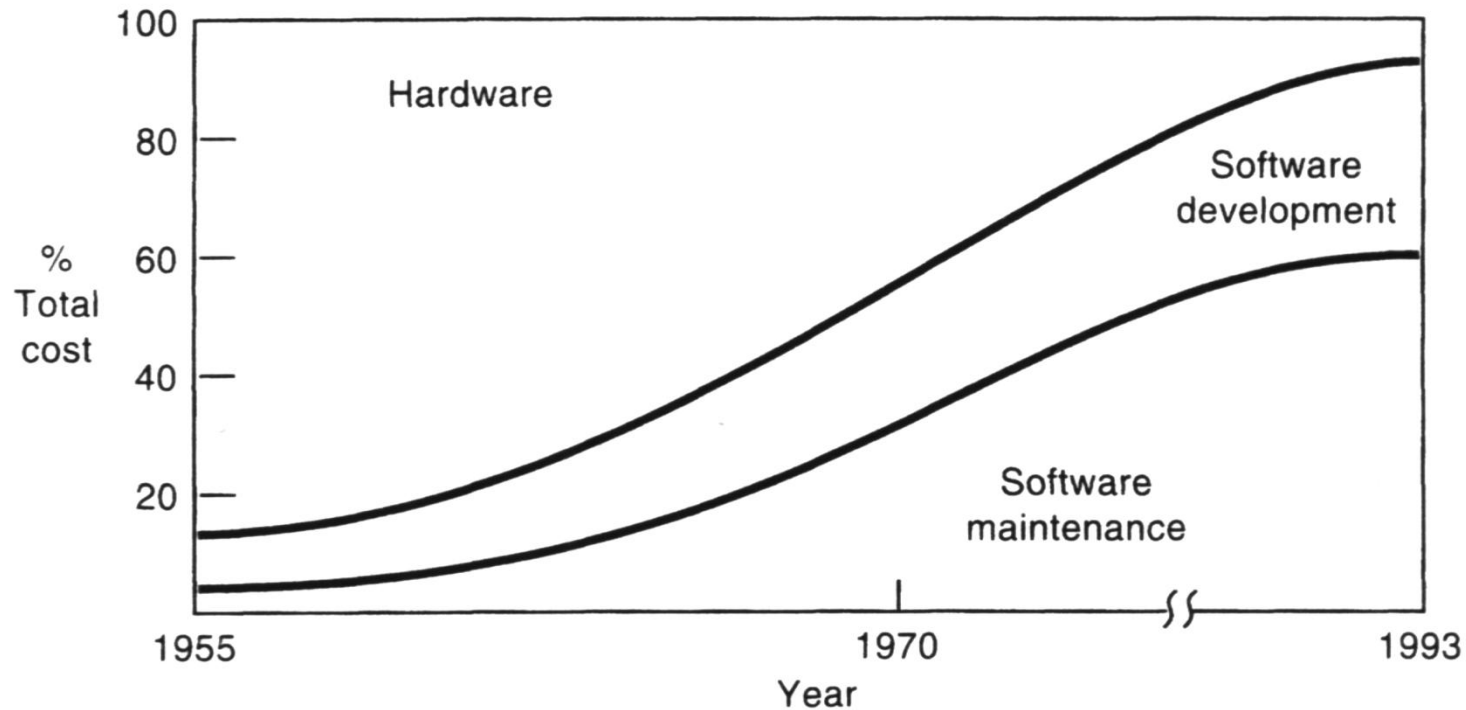
ESTIMAR: Ripple em C1

Temperaturas dos componentes

Taxa de falhas e MTTF

Confiabilidade do Software

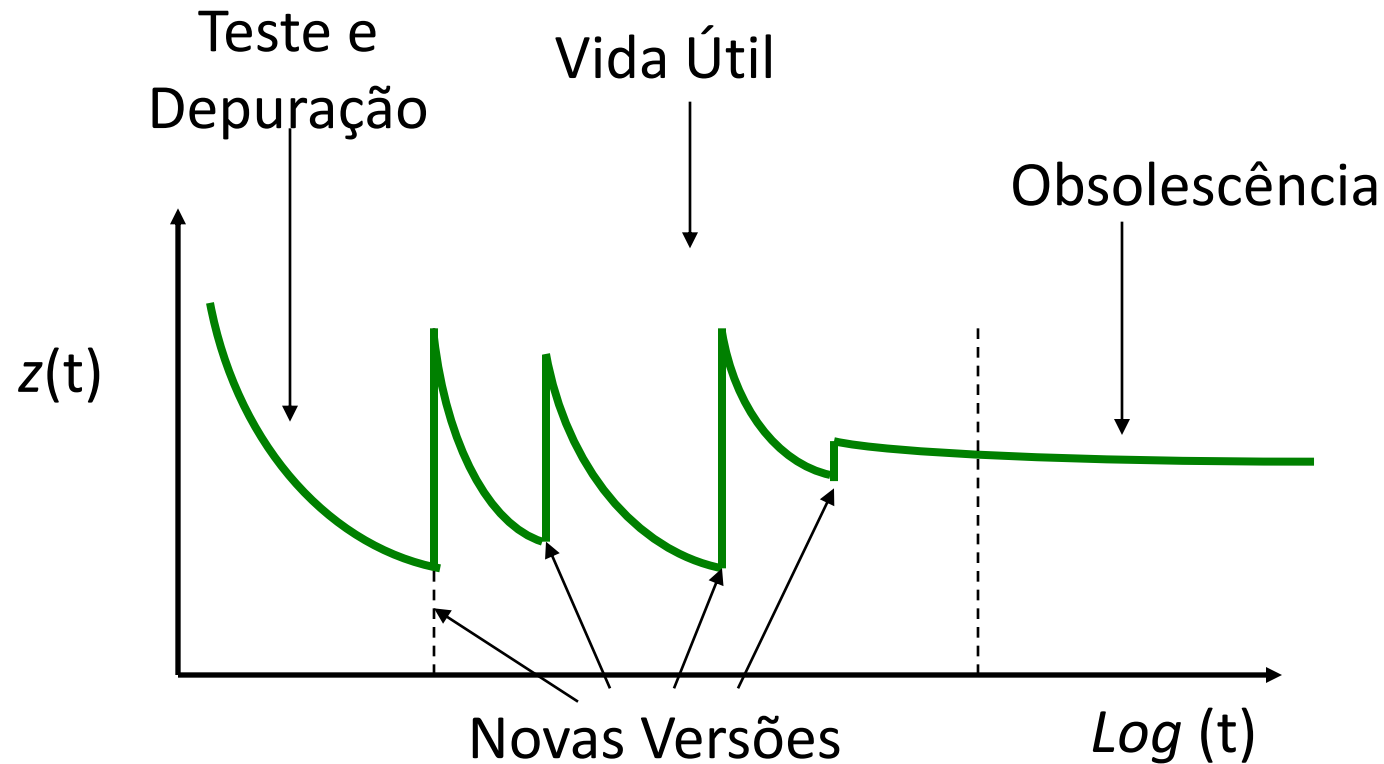
- Software é cada vez mais importante como elemento susceptível a falhas



- **Definição:** Probabilidade de operação livre de falhas por um período de tempo e em um ambiente especificados.
 - Não depende do tempo de uso; em geral não há “desgaste” dos recursos;
 - Não se beneficia de redundância;
 - Não pode ser prevista analisando fatores externos.

- Podem ser devidas a:
 - Erros, ambiguidades, interpretações erradas das especificações
 - Descuido, incompetência na codificação
 - Testes incompletos, não abrangentes
 - Erros na documentação dos recursos utilizados
 - Uso incorreto ou em condições não previstas
 - Etc...

- São principalmente falhas de projeto, ao contrário das falhas de hardware
 - Não se aplicam conceitos de “teste acelerado”, modelos de taxas de falha, redundância, etc. correspondentes às falhas de hardware
- No entanto, há possibilidade de falhas físicas
 - Ex.: “*Soft errors*” em memórias RAM, transientes elétricos, etc.



| Ação | Taxa de Falhas |
|-------------------------------|-----------------------|
| Atuação errada de uma chave | 0,001 |
| Fechar uma válvula errada | 0,002 |
| Errar leitura de um medidor | 0,005 |
| Omitir uma peça na montagem | 0,00003 |
| Montar componente errado | 0,0002 |
| Solda fria ou defeituosa | 0,002 |
| Erro na leitura de instruções | 0,06 |
| Teste de componentes | 0,00001 |

- Peter Becker, Finn Jensen: *Design of Systems and Circuits for Maximum Reliability or Maximum Production Yield* – McGraw-Hill, 1977
- W. G. Ireson, C. F. Coombs, R. Y. Moss: *Handbook of Reliability Engineering and Management* – McGraw-Hill, 1995
- Jerry Whitaker: *Maintaining Electronic Systems* – CRC Press, 1991
- Charles Harper, ed.: *Handbook of Components for Electronics* – McGraw-Hill, 1977
- *Power Devices Databook* – RCA Solid State, 1981
- *Microprocessors Databook, Vol. 1* – Motorola Semiconductors, 1988
- *General Description of Aluminum Electrolytic Capacitors* – Nichicon Technical Notes 8101D – 2002
- *Electronic Failure Analysis Handbook* – McGraw-Hill, 2004
- Nancy Leveson: *Medical Devices: The Therac-25* – Addison-Wesley, 1995