

# Sistemas Reparáveis - Eventos Recorrentes

Enrico A. Colosimo

Colaboração: Rodrigo C. P. dos Reis

Programa de Pós-Graduação em Estatística - UFMG

# Terminologia básica

- ▶ Um *sistema reparável*: é um sistema que, quando uma falha ocorre, pode retornar a uma condição de operação através de algum processo de reparo, ao invés da substituição de todo o sistema.
- ▶ *Reparável*: relacionado a equipamentos e/ou sistemas industriais.
- ▶ *Eventos Recorrentes*: definição geral em que pode estar ligado a qualquer área do conhecimento. Eventos recorrentes significa que para o segundo ocorrer o primeiro tem que ter ocorrido.

# Literatura

## 1. PASSADO

- ▶ Engenheiros: muito qualitativo.
  - ▶ RCM Smith (1993) / Moubray (1992)
  - ▶ Tsuchiya (1992) - Quality Maintenance.
- ▶ Estatísticos Matemáticos: somente rigor matemático. Provando resultados sem realmente fazer inferência. Kovelanko et al. (1993).

## 2. PRESENTE: Problema/Dados dos Engenheiros + Inferência Estatística.

- ▶ Rigdon and Basu (2000)
- ▶ Nelson (2003) - Métodos simples e gráficos
- ▶ Cook and Lawless (2007)
- ▶ Cap. 16 - Meeker e Escobar (1998)

# Situação Atual

- ▶ Literatura cresceu bastante nos últimos 20 anos.
- ▶ Métodos: paramétrico, semi-paramétrico e não-paramétrico.
- ▶ Inferência: Clássica (mais!) e Bayesiana.
- ▶ Processos Estocásticos: Processo de Poisson, Renovação e outros.

# Exemplo (Um Sistema)

Dados de falhas de um *software*

Tabela: Dados de falhas de um *software* (em horas).

Falha	Tempo	Tempo entre falhas	Falha	Tempo	Tempo entre falhas
1	9	9	18	98	3
2	21	12	19	104	6
3	32	11	20	105	1
4	36	4	21	116	11
5	43	7	22	149	33
6	45	2	23	156	7
7	50	5	24	247	91
8	58	8	25	249	2
9	63	5	26	250	1
10	70	7	27	337	87
11	71	1	28	384	47
12	77	6	29	396	12
13	78	1	30	405	9
14	87	9	31	540	135
15	91	4	32	798	258
16	92	1	33	814	16
17	95	3	34	849	35

# Exemplo

Dados de falhas de um *software*

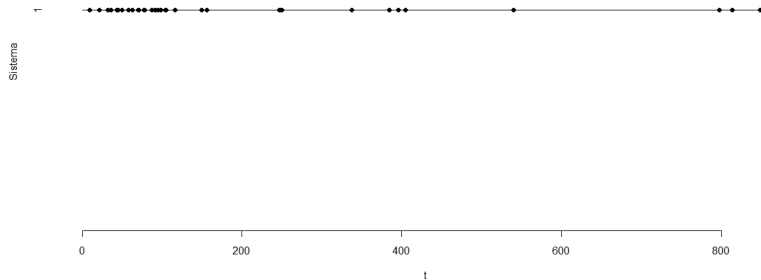


Figura: Gráfico de eventos.

# Exemplo (Mais de Um Sistema)

Dados de reparos de transmissão automática

**Tabela:** Dados de reparos de transmissão automática (Nelson, 2008).

<b>Carro</b>	<b>Quilometragem</b>		
24	7068	26744+	
26	28	13809+	
27	48	1440	29834+
29	530	25660+	
31	21762+		
⋮	⋮	⋮	⋮
130	21237+		
131	14281+		
132	8250	21974+	
133	19250	21888+	

# Exemplo

Dados de reparos de transmissão automática

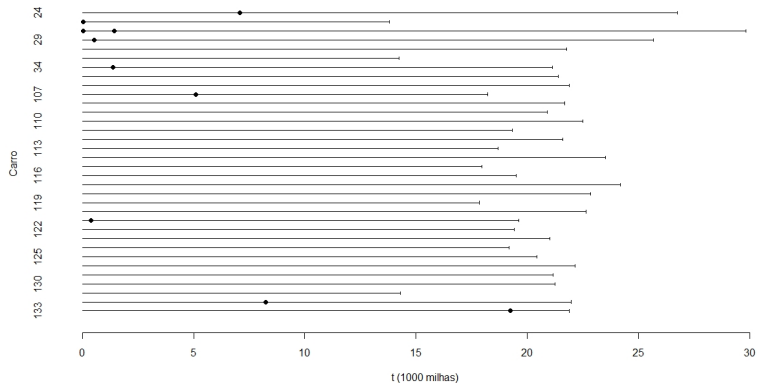


Figura: Gráfico de eventos.



# Exemplos

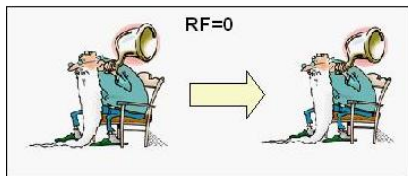
- ▶ Transformadores de alta tensão (CEMIG).
- ▶ Linha de Produção de uma Fábrica de Cimento.
- ▶ Ar condicionado de aeronaves.
- ▶ Chaves Seccionadoras (CEMIG).

# Definições

- ▶ falha: término da condição de operação;
- ▶ defeito: alteração da condição de operação;
- ▶ Manutenção Corretiva: retornar o sistema à condição de operação após uma falha.
- ▶ Manutenção Preventiva: parada programada para melhorar a condição do sistema.
- ▶ Manutenção Preventiva Perfeita: retorna o sistema a condição de "tão bom quanto novo".
- ▶ Reparo Mínimo: corretiva que retorna o sistema à condição de "tão ruim quanto velho".

# Sistemas reparáveis

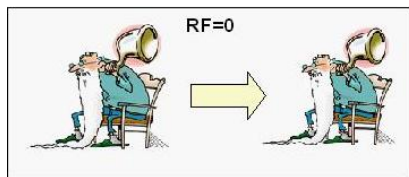
## Visão geral dos modelos



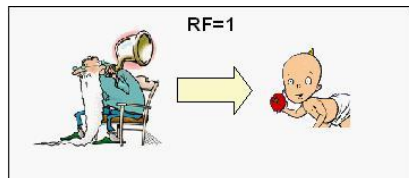
**Figura:** Reparo Mínimo: sistema continua no estado de “tão ruim quanto velho”.

# Sistemas reparáveis

## Visão geral dos modelos



**Figura:** Reparo Mínimo: sistema continua no estado de “tão ruim quanto velho”.



**Figura:** Reparo Perfeito: sistema retorna ao estado de “tão bom quanto novo”.

# Objetivos

- ▶ Comportamento do(s) Sistema(s). Mudança da taxa de ocorrência de falhas ao longo do tempo.
- ▶ Tempo Ótimo de Manutenção Preventiva.
- ▶ Comparação de diferentes sistemas.
- ▶ Identificar e caracterizar fontes de heterogeneidade.
- ▶ Predição e outros.

# Escala de Medidas

- ▶ Temporal (idade ou calendário) MAIS COMUM.
- ▶ Comprimento de tecido (número de defeitos).
- ▶ Distância percorrida (quilômetros rodados): chamadas na garantia.

# Softwares

- ▶ Minitab (versão 15: módulo de sistemas reparáveis).
- ▶ R (um tanto de coisa perdida. Temos que encontrar!!!).
- ▶ SPLIDA (Meeker e Escobar): roda no S-Plus. Versão beta pro R.
- ▶ SAS.

# Formas de Modelar Eventos Recorrentes

- ▶ Contagem de Eventos: Processo de Contagem.
- ▶ Tempo entre Eventos (Gap Times).



# Notação e conceitos básicos

- ▶ Denotaremos os tempos de falha de um sistema medido em **tempo global** por  $0 < T_1 < T_2 < \dots$ , ou seja, o tempo desde a inicialização do sistema.
- ▶ Os tempos entre falhas, ou os *gaps*, serão denotados por  $X_1, X_2, \dots$

# Notação e conceitos básicos

- ▶ Denotaremos os tempos de falha de um sistema medido em **tempo global** por  $0 < T_1 < T_2 < \dots$ , ou seja, o tempo desde a inicialização do sistema.
- ▶ Os tempos entre falhas, ou os *gaps*, serão denotados por  $X_1, X_2, \dots$ 
  - ▶ Com esta formulação, temos

$$X_1 = T_1$$

$$X_2 = T_2 - T_1$$

$$X_3 = T_3 - T_2$$

⋮

# Como decidir entre as duas Formas?

- ▶ Objetivo do Estudo.
- ▶ Característica do Processo em Estudo (observado).

# Modelos baseados na Contagem de Eventos

- ▶ Objetivo do Estudo: tendência do processo, tempo ótimo de MP, etc.
- ▶ Envolve eventos incidentais: retorna a condição "tão ruim quanto velho".
- ▶ REPARO MÍNIMO.
- ▶ Exemplos: reparo corretivo em equipamentos/sistemas complexos, ataque de asma, surtos epiléticos, etc.
- ▶ Exemplos de não incidentais: manutenção perfeita, infarto do miocárdio, metástase em câncer, etc.
- ▶ Análise Canônica: Processo de Poisson.

# Modelos baseados em Gap Times

- ▶ Objetivo do Estudo: explicar heterogeneidade entre sistemas.
- ▶ Intervenção: retorna a condição "tão bom quanto novo".
- ▶ Processo de Renovação.
- ▶ Exemplos: Manutenção Preventiva Perfeita.
- ▶ Análise Canônica: Processo de Renovação.

# Interesse Principal

- ▶ Processo de Contagem: Tempo Global.
- ▶ Manutenção Perfeita: renova o processo (gera um novo processo)
- ▶ Tópico de Pesquisa: Manutenção Imperfeita.