

Tratamento estatístico de dados de falha de um equipamento

1. Introdução

Enfrentamos frequentemente, quer na nossa vida pessoal e familiar quer na nossa actividade profissional – sobretudo nesta – a necessidade de tomar uma decisão num contexto específico de múltiplas escolhas. Para fundamentarmos racionalmente uma decisão, precisamos de ganhar o maior conhecimento possível da situação devidamente contextualizada. Para tal, procedemos à recolha de toda a informação pertinente. Alguma desta informação será de natureza necessariamente subjectiva, mas outra haverá bem objectiva resultante do tratamento de dados quantitativos, tratamento este – estatístico ou outro – que os torne compreensíveis como caracterizadores de uma situação específica.

Podemos agora raciocinar em sentido inverso, seguindo a Figura 1, a qual traduz a arquitectura típica das actividades ao longo de um processo de apoio à decisão. Assim, frequentemente os dados são captados em tempo real por sensores montados nos equipamentos e enviados para um PLC (*Programmable Logic Controller*) de *interface* que os valida e processa num primeiro nível. Os dados já filtrados são depois transmitidos através de uma rede de comunicação para um computador que supervisiona todo o sistema e que os trata num segundo nível com *software* específico e os apresenta já sob uma forma condensada, e por nós compreensível, que designamos informação. Um sistema assim constituído é designado em inglês por SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*), ou GTC (Gestão Técnica Centralizada) em português. Os dados podem também provir, em parte ou na totalidade, da digitação directa no teclado de um computador.

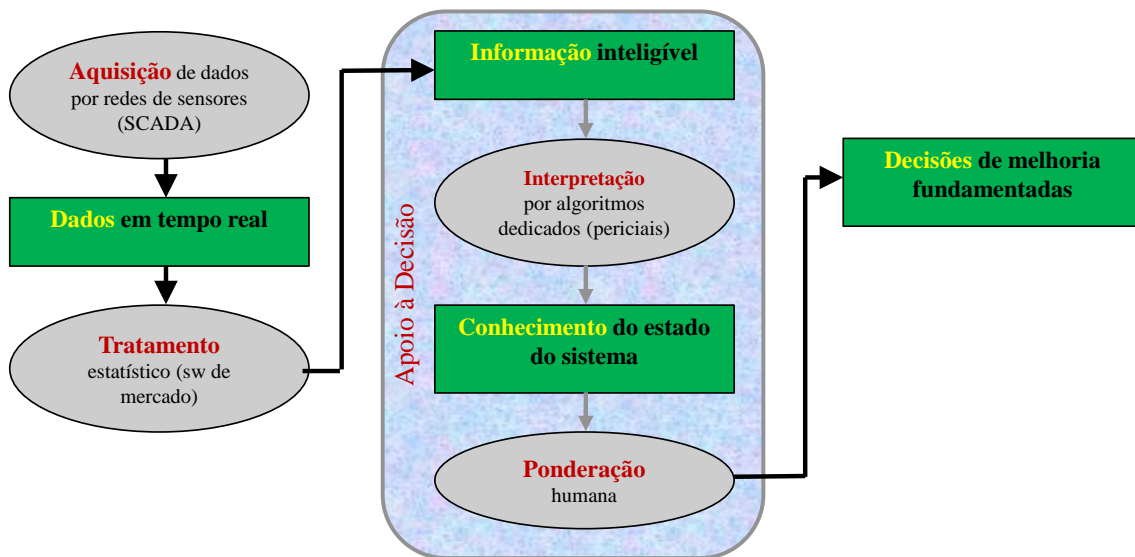


Figura 1 – Dos dados à decisão num processo de apoio à decisão

A informação assim obtida (condensada sob a forma de indicadores ou sob a forma de gráficos acompanhados da sua interpretação por um sistema pericial) é seguidamente disponibilizada a um supervisor/decisor que assim ganha (ou actualiza constante ou periodicamente) o conhecimento do estado do sistema e lhe permite tomar decisões devidamente fundamentadas e ponderadas nas suas consequências visando a resolução de um problema. Num processo de controlo de gestão, a monitorização do sistema assim conseguido permitirá que o supervisor/decisor adeque as suas decisões a um meio em constante mudança, na prossecução dos objectivos aos quais se propõe.

2. Dados de falha

De uma Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis* em inglês) resulta, entre outras informações, uma descrição sumária dos modos de falha pertinentes de cada componente crítico para o bom desempenho do sistema. Estes modos de falha deverão ser codificados de acordo com uma norma interna ou universal como, por exemplo, a ISO 14224.

Estes códigos e a sua descrição é introduzida num *software* CMMS (*Computer Computerized Maintenance Management System*) e todos os técnicos de manutenção, após receberem a formação adequada, passam a reportar os acontecimentos de falha com estes códigos ocorridas nos equipamentos que supervisionam, de modo a permitir o posterior tratamento estatístico destes dados. Alguns dos modos de falha identificados, poderão porém, ser directamente registados no sistema, quando provenientes de sistemas automáticos de supervisão SCADA. Com efeito, estes dados provêm de sensores inteligentes, os quais, em complemento com um PLC, podem contar o tempo efectivo de funcionamento, ou o número de manobras ou o número de ciclos, ou de outra qualquer variável que seja efectivamente condicionadora da vida útil dos componentes que estes sensores supervisionam, obtendo-se assim os tempos entre falhas TTF (*Time To Failure*) se o componente é reparável, ou os tempos de vida útil θ se o componente não for reparável. Nestes casos, o tratamento estatístico dos TTF (ou dos θ) destas variáveis torna-se imediato através de *software* dedicado. Senão, ou seja, na inexistência da função de contagem, corremos o risco de somente dispormos das datas em que as falhas foram noticiadas e reportadas. Neste caso, teremos de ajustar os intervalos de tempo calendário entre eventos, aos regimes de funcionamento de cada componente crítico, ou seja, no caso, por exemplo da variável “tempo de funcionamento”, número médio de horas de funcionamento diário do equipamento ao qual pertence, número médio de dias de funcionamento anual deste equipamento e ajustar o resultado com o coeficiente de simultaneidade (percentagem do tempo em que o componente funciona ou é solicitado em relação ao tempo de funcionamento do equipamento que o incorpora).

Vejamos um exemplo ao nível de um equipamento como um todo. Tratando-se de um único componente, teríamos de considerar apenas o modo de falha predominante (identificado pelo seu código único) e afectar os cálculos do factor de simultaneidade.

3. Exemplo de aplicação

Do cadastro de um determinado equipamento, conhecem-se as datas em que este parou – umas vezes para realizar uma intervenção de manutenção correctiva (MC) devido a uma falha (avaria), outras vezes para realizar uma intervenção de manutenção preventiva (MP) – e arrancou depois de completadas estas intervenções. Pretendemos determinar as principais estatísticas do seu desempenho durante o período entre 07 de Setembro de 2016 e 13 de Fevereiro de 2017, o qual figura no Quadro 1. O regime médio em que este equipamento funcionou foi o seguinte: 15 horas/dia e 230 dias/ano.

Questões:

- Qual foi a disponibilidade operacional do equipamento durante as últimas 1.200 horas?
- Suponha que estes dados se referem ao modo de falha predominante de um único componente. Quais são os parâmetros da distribuição de probabilidade Weibull de melhor aderência a estes dados?
- Ainda no caso do componente, se quisermos actualizar a periodicidade da sua substituição preventiva, de forma a cumprir com o rácio de $r = N_{(MC)} / (N_{(MC)} + N_{(MP)}) = 0,05$, qual deverá ser o seu valor (múltiplo de 10) em horas de funcionamento?
- Ainda no caso do componente, se uma intervenção de MP sistemática custar em média 150 € e uma intervenção de MC custar em média 450 €, qual será o custo de manutenção (€/100 horas) para uma periodicidade de manutenção preventiva sistemática de 170 horas?
- Ainda no caso do componente, se uma intervenção de MP sistemática durar em média 5 horas e uma intervenção de MC durar em média 30 horas, qual será o contributo da disponibilidade deste componente para a disponibilidade do equipamento, se se adoptar uma periodicidade de MP sistemática de 170 horas?

Ordem	Eventos	Datas	Observações
1	Início registos	28-ago-16	Já funcionava
2	MC (pára)	9-set-16	
3	Arranca	10-set-16	
4	MP (pára)	4-out-16	
5	Arranca	5-out-16	
6	MC (pára)	30-out-16	
7	Arranca	1-nov-16	
8	MC (pára)	11-nov-16	
9	Arranca	12-nov-16	
10	MC (pára)	5-dez-16	
11	Arranca	14-dez-16	
12	MC (pára)	2-jan-17	
13	Arranca	4-jan-17	
14	MP (pára)	22-jan-17	
15	Arranca	23-jan-17	
16	Hoje	13-fev-17	Está a funcionar

Quadro 1 – Dados de falha de um equipamento

O Quadro 2 mostra os resultados dos cálculos de ajustamento.

Ordem	Eventos	Datas	Momentos ajustados	Tempo entre manutenções (TTM _{pc})	Censuras	Tempo parado (TTR _{pc})
1	Início registos	28-ago-16	-		-	-
2	MC (pára)	09-set-16	113	113	S	-
3	Arranca	10-set-16	123		-	9
4	MP (pára)	04-out-16	350	227	S	-
5	Arranca	05-out-16	359		-	9
6	MC (pára)	30-out-16	595	236	-	-
7	Arranca	01-nov-16	614		-	19
8	MC (pára)	11-nov-16	709	95	-	-
9	Arranca	12-nov-16	718		-	9
10	MC (pára)	05-dez-16	936	217	-	-
11	Arranca	14-dez-16	1.021		-	85
12	MC (pára)	02-jan-17	1.200	180	-	-
13	Arranca	04-jan-17	1.219		-	19
14	MP (pára)	22-jan-17	1.389	170	S	-
15	Arranca	23-jan-17	1.399		-	9
16	Hoje	13-fev-17	1.597	198	S	-

Quadro 2 – Ajustamento dos dados do Quadro 1

Por exemplo, o momento de ordem 6 resultou do seguinte cálculo: $359 + (30 \text{ Out} - 05 \text{ Out}) \times 15 \times 230/365 = 595$ horas.

Resolução:

- a) Tendo em conta a janela temporal de 1.200 horas, o momento mais remoto é $1.597 - 1.200 = 397$ horas. Logo, o período em análise inicia-se no registo de ordem 6 (30 de Outubro de 2016).

Mean Time To Maintenance (MTTM_{pc}) ou tempo entre intervenções de manutenção (umas correctivas e outras preventivas):

$$\text{MTTM}_{pc} = (1.200 - (19 + 9 + 85 + 19 + 9)) / 5 = 211,6 \text{ horas}$$

Mean Time To Recover (MTTR_{pc}) decorrente de uma paragem para MC ou MP:

$$\text{MTTR}_{pc} = (19 + 9 + 85 + 19 + 9) / 5 = 28,4 \text{ horas}$$

$$\text{Disponibilidade operacional: } D = 211,6 / (211,6 + 28,4) = 88,18\%$$

b) Recorrendo à aplicação EXCEL “Ajustamento Weibull-Bernard”, o qual acompanha o meu livro “Apoio à Decisão em Manutenção Na Gestão de Activos Físicos”, tratamos a quinta coluna (censurada ou não conforme identificado na sexta coluna) do Quadro 3 e obtemos: $t_0 = 0$ horas; $\alpha = 2,67$; $\beta = 250$ horas

c) Recorrendo à aplicação EXCEL “Distribuição Weibull”, que acompanha o mesmo livro, obtemos, para $F(t_p) = 0,2$:

$$t_p = t_0 + \beta \cdot \left[\ln \left(\frac{1}{1 - F(t)} \right) \right]^{1/\alpha} = t_0 + \beta \cdot [-\ln(R(t))]^{1/\alpha} = 0 + 250 \cdot [-\ln(1 - 0,05)]^{1/2,65} = 81,5 \cong 80 \text{ horas}$$

d) Obtemos um custo de 155,46 €/100 horas com uma probabilidade de falha até este prazo $F(t = 170) = 0,3022$ e vida média até à substituição de 120 horas.

$$C_{MP} = \frac{(450) \cdot (0,3022) + (150) \cdot [1 - 0,3022]}{(120) \cdot (0,3022) + (170) \cdot [1 - 0,3022]} = 155,46 \text{ €/100 horas}$$

e) Obtemos uma disponibilidade de 92,5% com uma probabilidade de falha de $F(t = 170) = 0,3022$ e vida média até à substituição de 120 horas.

$$D = \frac{(120) \cdot (0,3022) + (170) \cdot [1 - 0,3022]}{(120) \cdot (0,3022) + (170) \cdot [1 - 0,3022] + (30) \cdot (0,3022) + (5) \cdot [1 - 0,3022]} = 0,9250$$

Rui Assis
 14 Setembro 2018
rassis46@gmail.com
www.rassis.com