

Controle de Processo

Gráficos de Controle \bar{x} e R

Dois gráficos de controle muito comuns empregados para características da qualidade expressa por um número medido em uma escala contínua de medida são os gráficos da média \bar{x} e o gráfico da amplitude R.

O gráfico \bar{x} é utilizado para controlar a média do processo, enquanto o gráfico R é utilizado para o controle da variabilidade do processo em questão. Ambos os gráficos devem ser utilizados simultaneamente para avaliação e controle do processo.

Suponhamos que a característica da qualidade a qual interessamos (x) tenha distribuição normal com média μ e desvio padrão σ : $x \sim N(\mu, \sigma)$.

Supondo que x_1, x_2, \dots, x_n seja uma amostra de tamanho n dessa distribuição, pelo teorema do limite central sabemos que a média amostral $\bar{x} = (x_1 + x_2 + \dots + x_n)/n$ tem

distribuição normal com média μ e desvio padrão $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$, ou seja,

$$\bar{x} \sim N\left(\mu, \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) = N(\mu, \sigma_{\bar{x}})$$

De acordo com as propriedades da distribuição normal, também sabemos que há uma probabilidade igual a $1 - \alpha$ de que a média amostral \bar{x} esteja entre:

$$\mu + z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \text{ e } \mu - z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}.$$

Para determinar os limites de controle é usualmente adotado o sistema 3σ , que consiste em fazer $z_{\alpha/2} = 3$. Isto implica que 99,73% das observações de \bar{x} estarão no

intervalo $\mu \pm 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$, o que equivale dizer que a ocorrência de um valor da média amostral fora desse intervalo (fora dos limites de controle) indica que causas especiais de variação atuam sobre o processo (processo fora de controle estatístico).

Na prática, os valores de μ e σ não são conhecidos, devendo ser estimados por meio de dados amostrais. Isso pode ser feito tomando m amostras preliminares de tamanho n da característica da qualidade considerada (subgrupos racionais) quando houver

Controle de Processo

crença de que o processo esteja sob controle estatístico e condições de operação mantidas tão uniformes quanto possível. É usual empregar:

- $m = 20$ ou 25 , pelo menos.
- $n = 4, 5$ ou 6 .

- **Estimação de μ :**

A média μ é estimada por meio da média global de amostra ($\bar{\bar{x}}$) definida por:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_m}{m} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{x}_i$$

- **Estimação de σ com base na amplitude amostral:**

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m R_i$$

Demonstra-se que o desvio padrão sigma deve se estimado por:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Onde d_2 é um fator de correção, tabelado em função do tamanho da amostra n de cada amostra.

Obs: A estimação do desvio padrão σ a partir da amplitude média \bar{R} é a apropriada para pequenas amostras ($n \leq 10$), pois, para amostras de maior tamanho, \bar{R} perde sua eficiência.

Cálculo dos Limites de Controle

Gráfico \bar{x}

$$LSC = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$$

$$LM = \bar{\bar{x}}$$

$$LIC = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$$

Controle de Processo

Gráfico R

$$LSC = D_4 \bar{R}$$

$$LM = \bar{R}$$

$$LIC = D_3 \bar{R}$$

Exercício:

Uma empresa mineradora realiza o controle do teor de sílica do seu produto. Para isso ela coleta uma amostra do fluxo de minério em um determinado ponto do processo a cada duas horas, usando um amostrador do tipo vai-e-vem. Para compor cada amostra, o amostrador coleta um incremento a cada meia hora, gerando 4 incrementos por amostra. Na tabela abaixo são apresentados os resultados da análise do teor de sílica para 25 amostras, onde os incrementos são analisados individualmente. Construa os gráficos de controle X-barra e R para avaliar o processo.

Controle de Processo

Medidas do Diâmetro (em mm) de Roscas Produzidas por uma Indústria de Autopeças							
Amostra i	X_{i1}	X_{i2}	X_{i3}	X_{i4}		\bar{x}_i	R_i
1	7,100	7,095	7,100	7,105			
2	7,100	7,100	7,095	7,105			
3	7,120	7,105	7,100	7,120			
4	7,115	7,120	7,115	7,115			
5	7,090	7,095	7,110	7,120			
6	7,110	7,100	7,105	7,100			
7	7,105	7,095	7,100	7,105			
8	7,100	7,115	7,095	7,105			
9	7,065	7,090	7,110	7,105			
10	7,125	7,130	7,095	7,100			
11	7,105	7,100	7,115	7,095			
12	7,100	7,110	7,085	7,090			
13	7,115	7,090	7,085	7,090			
14	7,095	7,090	7,095	7,100			
15	7,110	7,070	7,095	7,100			
16	7,070	7,075	7,080	7,100			
17	7,090	7,130	7,100	7,110			
18	7,100	7,100	7,090	7,095			
19	7,080	7,070	7,090	7,110			
20	7,100	7,110	7,070	7,110			
21	7,095	7,105	7,095	7,095			
22	7,105	7,070	7,110	7,110			
23	7,100	7,100	7,105	7,110			
24	7,100	7,105	7,105	7,110			
25	7,120	7,115	7,110	7,130			
Médias							