

Gráficos Assimétricos de Controle de Qualidade e suas Aplicações em Controle de ETAs

Eng.º PEDRO C. SANCHES MANCUSO (*)

1. INTRODUÇÃO

O controle operacional de Estações de Tratamento de água é feito através de determinações, em laboratórios, de uma série de parâmetros onde a frequência de amostragem é dimensionada em função das necessidades e dos equipamentos disponíveis, sendo comum frequência horária para parâmetros de fácil obtenção como turbidez, cor, pH e cloro residual.

Os dados assim obtidos são tabelados sem nenhum tratamento estatístico e, via de regra, após um período arbitrariamente fixado em trinta dias, são apresentados sob forma de relatórios à administração da empresa. Essa prática, embora possa ter seus méritos, não permite avaliar a tendência do processo, nem tampouco diferenciar as variações devidas a ausência de controle do processo.

Uma maneira prática de resolver o problema consiste na utilização dos Gráficos de Controle de Qualidade, também conhecidos como Gráficos 3σ .

Os Gráficos de 3σ de Controle de Qualidade baseiam-se no fato

que as distribuições por amostragem das estimativas permitem estabelecer certos limites para os quais se encontram a média, o desvio padrão e a frequência relativa de uma amostra extraída de uma certa população. Dessa forma, é possível reconhecer se uma amostra pertence àquela população.

De origem relativamente recente, seu uso foi adotado pela maioria dos departamentos de controle de qualidade das mais variadas indústrias e por esse motivo, tabelas foram elaboradas por entidades de normas técnicas e podem ser encontradas na bibliografia especializada.

Devido a características próprias do processo industrial de produção de água potável, alguns parâmetros como a turbidez por exemplo, tem distribuição de probabilidade assimétrica, de forma que as tabelas existentes não se aplicam, pois foram desenvolvidas para distribuição normal.

A metodologia aqui apresentada, propõe uma forma para contornar o problema apresentando um exemplo prático.

2. CONCEITUAÇÃO TEÓRICA

2.1 Definições

2.1.1 Fonte de Variação não Assinalável (FVNA): É o conjunto de causas de variações, cuja influência sobre o resultado é pequena, todas independentes entre si (1) e são res-

ponsáveis pelas variações dita "ao azar" ou aleatórias.

A distribuição de probabilidades das variações produzidas por causas não assinaláveis, seguem a lei de Gauss.

2.1.2 Fontes de Variações Assinaláveis (FVA): É o conjunto de causas de variações cuja influência sobre o resultado é grande. São em pequeno número porém causam grande influência.

Os gráficos de Controle de Qualidade, tem por objeto detectar a presença das FVA. Tem um efeito preventivo e deverão ser empregados durante o processo de produção para impedir que o processo saia de controle (2).

2.2 Gráficos das Médias

Sabe-se da teoria que as médias de amostras de n elementos retirados da produção, tendem a uma distribuição normal a medida em que n aumenta. Sabe-se também que a distribuição amostral da médias (\bar{x}) de amostras extraídas de uma população normal, com média μ e desvio padrão σ é também normal, com

$$\mu_{\bar{x}} = \mu \text{ e } \sigma_{\bar{x}} = \sigma / \sqrt{n} \quad (3).$$

O gráfico das médias foi concebido baseado no fato de que uma variável normalmente distribuída apresenta seus valores dentro da faixa

$$\mu \pm 3.09 \sigma / \sqrt{n}, \text{ com } 99.8\% \text{ de}$$

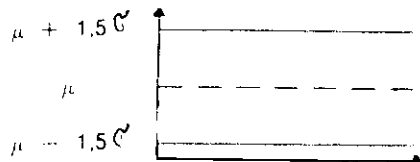
(*) Chefe da Divisão de Controle de Qualidade — Diretoria de Operação da SABESP.

certeza, Fazendo-se $A = 3,09 / \sqrt{n}$,

os valores de A foram tabelados em função do tamanho da amostra e a expressão dos limites assume a forma:

LIMITE SUPERIOR DE CONTROLE = $LSC = \mu + A\sigma$
 LIMITE INFERIOR DE CONTROLE = $LIC = \mu - A\sigma$
 LINHA MÉDIA = $LM = \mu$

O valor de A pode ser encontrado em tabelas e a título de exemplo, quando $n = 4$, $A = 1,5$ e o gráfico das médias assume a forma:



2.3 Gráfico das Amplitudes

Da mesma forma, os limites para esse tipo de gráfico encontram-se tabelados em função do tamanho da amostra, sendo seus limites dados por:

$LIC = D_1 \cdot \sigma$
 $LSC = D_2 \cdot \sigma$

3. APLICAÇÃO PRÁTICA

O Quadro 1 foi elaborado a partir de 100 determinações de turbidez obtidas durante o processo produtivo.

$A =$ centro de classe e $B = Z =$

Função de
 $x - x = \frac{\dots}{\sigma}$ Distribuição

Se a variável fosse normalmente distribuída, a curva $A = f(B)$ seria uma reta (Teste de Aderência de Henry ou Reta de Henry), o que não se verificou — Gráfico A.

Plotando-se agora em papel monolog os mesmos dados, obteve-se uma reta — gráfico B — o que indica que a distribuição log-normal representa razoavelmente a população.

Outro teste de aderência, consiste no gráfico C, onde se traçou a curva Centro de Classe = f (Frequência Acumulada). Novamente encontrou-se uma reta.

Como as tabelas para construção dos gráficos foram construídos para Distribuições Normais, foi adotado o seguinte artifício: Para $n = 4$, $A = \frac{\dots}{n} = 1,5$, ou seja, os valores da variável aleatória deveriam cair na faixa compreendida entre $x \pm 1,5$, com 99,8% de certeza.

Como a distribuição é assimétrica, A assumirá dois valores (A_1 e A_2),

de forma que os limites seriam:

$LSC = \bar{x} + A_1 \sigma$
 $LIC = \bar{x} - A_2 \sigma$

Primeiramente são apresentados os cálculos de \bar{x} e a seguir A_1 e A_2 .

Cálculo da média \bar{x} : (Gráfico C) (4).

Valor lido a 50% = mediana = 0,74 UJT = Y

Valor lido a 15,9% = 0,59 UJT = Z
 Demonstra-se que:

a) $\log Y - \log Z = \log 0,74 - \log 0,59 = 0,09838 =$ Desvio Padrão dos logaritmos dos valores da turbidez = S (4).

b) $\log \bar{x} = \log Y - 1,1513 (S)^2 = 0,1419109$, portanto $x =$ média = $\bar{x} = 0,72$ (4).

c) $\sigma = \frac{2}{5}$ (90.º percentil - 10.º percentil) (5)

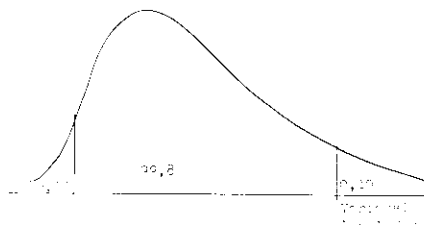
$\sigma = \frac{2}{5}$ (0,98 - 0,56) = 0,17

Portanto a variável x é log normalmente distribuída com média $\bar{x} = 0,72$ e desvio padrão $\sigma = 0,17$; simbolicamente:

$x = \log N (0,72 : 0,17)$

Cálculo de A_1 e A_2 :

Para construção do gráfico das médias foi tirado do gráfico C, os valores limites em que a variável aleatória assume em 99,8% das vezes. Gráficamente,



para 99,9% 1,45 UJT
 0,1 0,38 UJT

Dessa forma os limites seriam dados por

$LSC = \bar{x} + A_1 \sigma = 1,45$
 $LIC = \bar{x} - A_2 \sigma = 0,39$
 $1,45 = 0,72 + A_1 \cdot 0,17$
 $0,39 = 0,72 - A_2 \cdot 0,17$
 Resolvendo, $A_1 = 4,3$
 $A_2 = 2,0$

Logo,

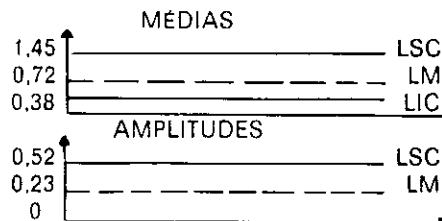
$LSC = \bar{x} + 4,3 \sigma = 1,45$ UJT
 $LM = \bar{x} = 0,72$ UJT
 $LIC = \bar{x} - 2,0 \sigma = 0,38$ UJT

Da mesma forma, constatou-se serem normalmente distribuídas as amplitudes, podendo-se portanto serem utilizadas as tabelas da literatura.

Sendo $\Sigma R = 23,57$, $R = 0,23$
 Portanto:

$LSC = D_1 \bar{R} = 2,28 \times 0,23 = 0,52$
 $LM = \bar{R} = 0,23$
 $LIC = D_2 \bar{R} = 0 \times 0,23 = 0$

O gráfico das médias e amplitudes assume a seguinte forma:



Plotando-se os valores observados — Gráfico D — verifica-se controle sobre o processo até o dia 9. Nesse dia, a ETA que operava com 2,3 m³/seg., passou a operar com 3,0 m³/seg., apresentando um produto final bastante instável em torno da média, o que foi detectado pelo gráfico das amplitudes.

No dia 15, tiveram início as obras de reforma de um dos cinco decantadores. A partir daí a estação saiu completamente fora de controle exigindo da operação uma mudança no processo.

4. CONCLUSÕES

Os Gráficos de Controle, por terem efeito preventivo, devem ser empregados durante o processo de produção. Devem orientar os operadores de estações de tratamento de água no sentido de manter o processo sob controle.

Como um processo industrial, qualquer que seja, não produz sempre exemplares perfeitos devido as variações ocasionais, os gráficos permitem detectar um movimento de tendência, isto é, permitem verificar a tempo quando a estação está saindo de controle cabendo a operação, evidentemente, pesquisar e corrigir as causas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

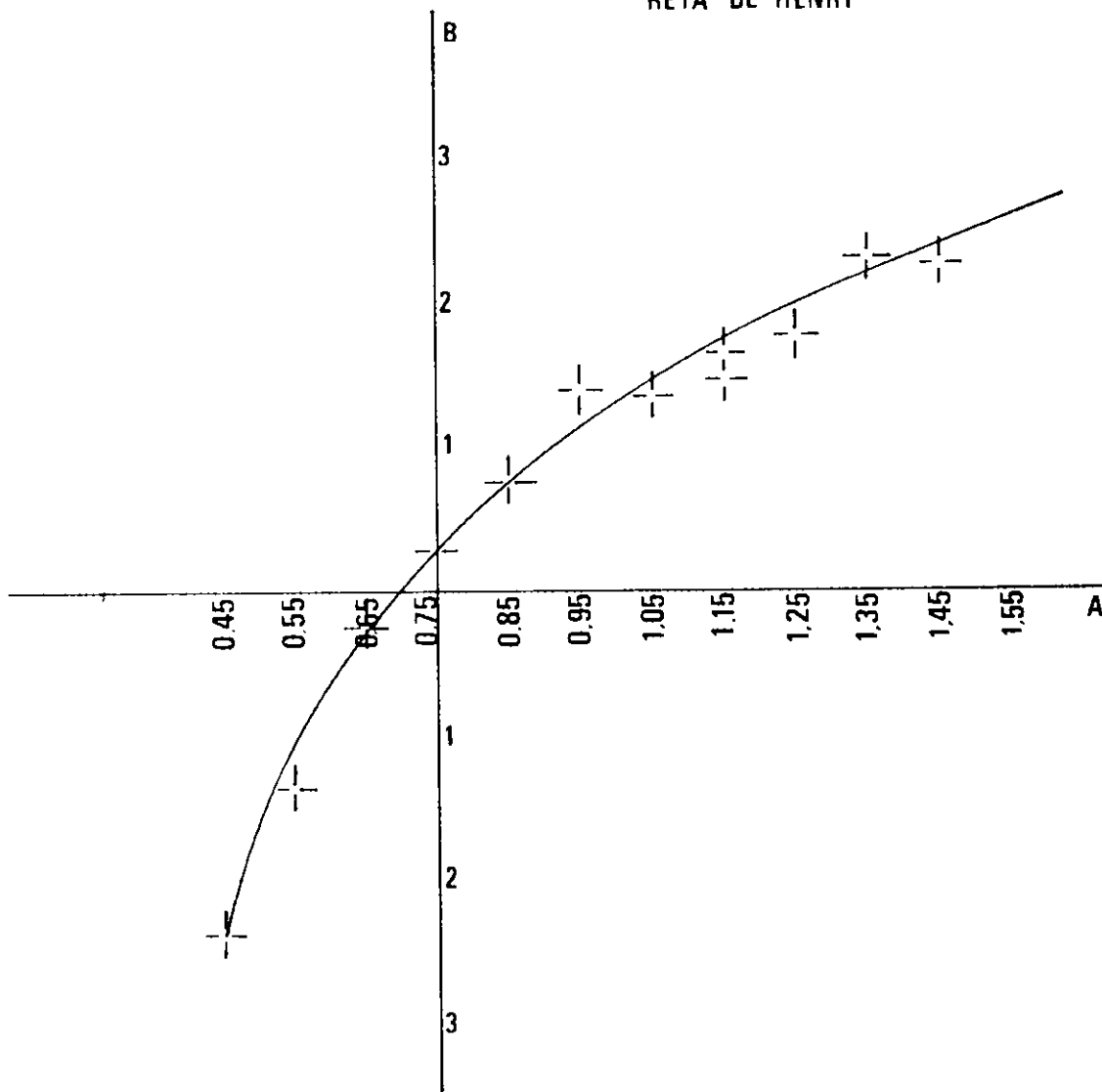
(1) GARCIA, Enrique J. e Alfredo A. Arrondo — "Control de la Calidad I" — Instituto Argentino de Control de la Calidad — Buenos Aires, 1973.
 (2) LEME, Ruy Agular da Silva — "Curso de Estatística" — Ed. Ao Livro Técnico S/A — Rio de Janeiro 1967.
 (3) LOURENÇO FRANCISCO, Ruy de C. B. — "Controle Estatístico de Qualidade" — Ed. Ao Livro Técnico S/A — Rio de Janeiro, 1970.
 (4) HALD, A — "Statistical Theory With Engineering Application" — Wiley — New York, 1952.
 (5) JOHNSON, N. L.

QUADRO 1

Intervalos de Classe		(A) Centro de Classe	Freqüência Absoluta	Freqüência Relativa	Freqüência Relativa Acumulada	Função de Distribuição (B)
0,41	0,5	0,45	1	0,01	0,01	$0,50 - 0,01 = 0,49$; $Z = -2,34$
0,51	0,6	0,55	8	0,08	0,09	$0,50 - 0,09 = 0,41$; $Z = -1,34$
0,61	0,7	0,65	31	0,31	0,40	$0,50 - 0,40 = 0,10$; $Z = -0,25$
0,71	0,8	0,75	21	0,21	0,61	$0,61 - 0,50 = 0,11$; $Z = 0,28$
0,81	0,9	0,85	16	0,16	0,77	$0,77 - 0,50 = 0,27$; $Z = 0,74$
0,91	1,00	0,95	14	0,14	0,91	$0,91 - 0,50 = 0,41$; $Z = 1,34$
1,01	1,10	1,05	0	0	0,91	$Z = 1,34$
1,11	1,20	1,15	4	0,04	0,95	$0,95 - 0,50 = 0,45$; $Z = 1,65$
1,21	1,30	1,25	1	0,01	0,96	$0,96 - 0,50 = 0,46$; $Z = 1,76$
1,31	1,40	1,35	3	0,03	0,99	$0,99 - 0,50 = 0,49$; $Z = 2,33$
1,41	1,50	1,45	0	0	0,99	$Z = 2,33$
1,51	1,60	1,55	1	0,01	1,00	$1,0 - 0,50 = 0,50$; $Z = 00$

GRÁFICO A

RETA DE HENRY



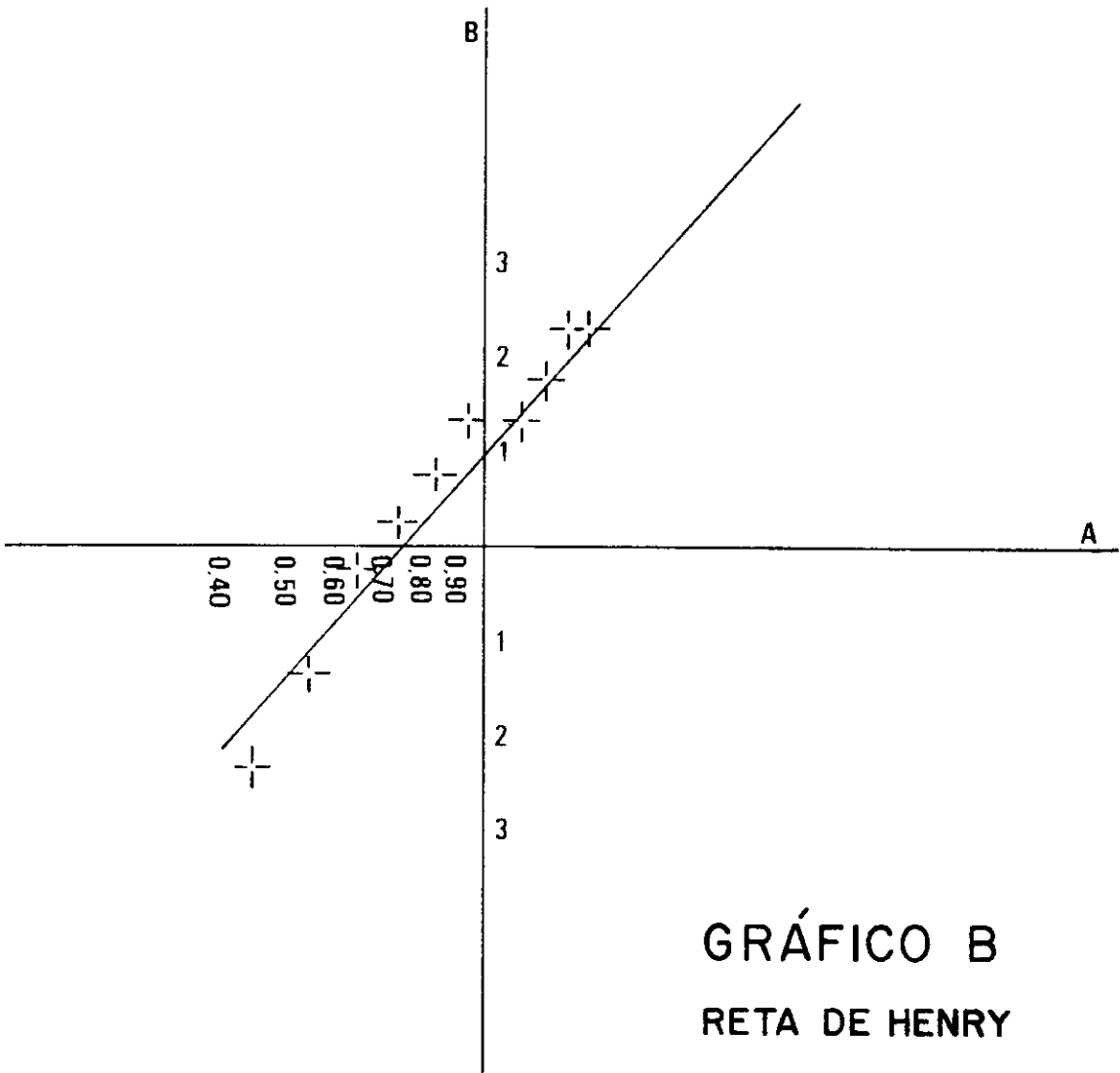


GRÁFICO B
RETA DE HENRY

Frequência Relativa Acumulada

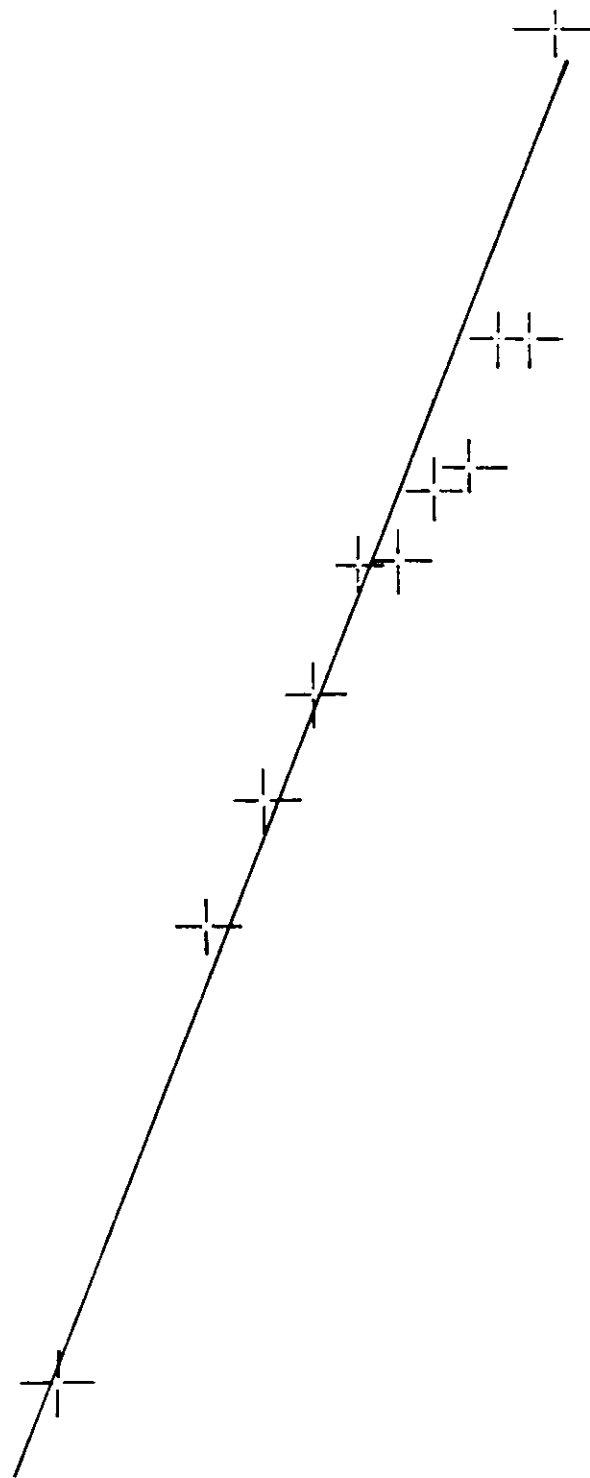


GRÁFICO C

0.2

0.3

0.4

0.5

0.6

0.7

0.8

0.9

1.0

Centro de Classe

2

GRÁFICO D

