São Paulo - Brazil - May - 22nd to 24th - 2013

4th INTERNATIONAL WORKSHOP
ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION

"INTEGRATING CLEANER PRODUCTION INTO SUSTAINABILITY STRATEGIES"

Qualidade de Controle Aplicada a Estações de Tratamento de Água

HONORATO, T. Z. [a], COSTANZI, R. N. [a*]

a. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, PR

**ricardocostanzi@utfpr.edu.br*

Resumo

O aumento da demanda de água em centros urbanos tem causado uma maior preocupação quanto a confiabilidade dos sistemas de abastecimento de água potável, especificamente para qualidade e quantidade de água distribuída. O aspecto de qualidade pode ser determinado pela operação adequada em estações de tratamento de água (ETA) convencionais, principalmente quando são utilizados mananciais do tipo superficiais. As variáveis monitoradas neste trabalho em uma ETA convencional foram pH e turbidez. Estas variáveis podem ser consideradas como parâmetros principais para verificação do desempenho e controle do processo por métodos estatísticos de qualidade, tais como gráficos de controle e índices de capacidade do processo. O cálculo de índices de capacidade do processo permite avaliar o desempenho do processo para a produção de água potável dentro dos valores limites especificados por normas ou legislações. Desta forma, o desempenho de uma ETA pode ser controlado por processos estatísticos de controle visando minimizar o consumo de produtos químicos e a geração de lodo em excesso. Este trabalho aplica técnicas de controle estatístico em uma ETA localizada na cidade Londrina.

Palavras-chave: *qualidade de controle, estação de tratamento de água, processo ambiental*

1. Introdução

O aumento da população urbana gerou uma maior demanda de água nas cidades. Dados recentes mostram que a população mundial está crescendo aproximadamente a taxa de 80 milhões de pessoas por ano (Muthukumaran et al., 2011). Até 2030, o número de habitantes nas cidades deverá ultrapassar 60% da população mundial, o que gerará uma necessidade de investimentos na infra-estrutura de abastecimento de água urbano (UNESCO, 2009).

Outro aspecto importante na geração de água em sistemas de saneamento é a poluição de águas superficiais por substâncias químicas e a eutrofização de rios e lagos devido ao excesso de nutrientes. Ambos temos sido objetos de estudo e preocupação (Iscen et al., 2008; Ouyanga et al., 2006). Isto tem acarretado a necessidade de uma maior segurança quanto aos aspectos de qualidade da água tratada e distribuída.

Para que os serviços de abastecimento possam garantir o fornecimento de água com características e especificações de qualidade adequadas, devem-se prover métodos para controle e redução das variabilidades existentes.

Gráficos de controle (Aizenchtadt, 2008) e suas várias modificações visam determinar causas de

variação para minimizar a variabilidade dos parâmetros de controle de um processo. Neste contexto, um processo pode ser definido como uma distribuição de probabilidade que representa uma qualidade característica constante ao longo do tempo.

Esses gráficos são importantes para demonstrar que o processo está em um estado de controle estatístico (Shamsuzzaman, 2006). Enquanto a variação está presente virtualmente em todos os processos, apenas a variação natural ou randômica está presente em processos de controle adequados. Em contraste, apenas condições específicas devido a presença de causas especiais podem sinalizar que um processo está sem controle (Woodall, 2000; Cook et al., 2006).

As razões para utilização de gráficos de controle para WTP são a melhoria da produtividade, prevenção de problemas operacionais, necessidade de ajustes no processo e informações do diagnóstico.

Este trabalho aplica técnicas de controle estatístico em uma Estação de Tratamento de Água localizada na cidade Londrina para estabelecer um melhor controle quanto a procedimentos operacionais e qualidade do produto.

2. Materiais e Métodos

2.1 Características da ETA

A Estação de Tratamento de Água (ETA) estudada está localizada na cidade Londrina-Brasil, na sub-bacia do Ribeirão Limoeiro. A vazão média de operação é de 1.25 $m^3.s^{-1}$, cujo manancial utilizado é o rio Tibagi.

2.2 Source of Data Methodology

Os dados da estação de tratamento de água dos anos de 2007, 2008 e 2009 foram utilizados para análise e métodos estatísticos de controle de qualidade. Os dados disponíveis foram levantados no processo produtivo diariamente. As variáveis utilizadas foram: Turbidez produzida da água e pH produzido.

Para análise dos valores das variáveis foi considerado como valor significativo ± 0.01.

2.3 Qualidade de Controle

Foi aplicada inicialmente estatística descritiva por meio de médias, desvio padrão, coeficiente de variação e normalidade.

Testes para verificação de normalidade foram utilizados, dentre eles o de D'Agostino-Pearson, Anderson-Daling e Ryan-Joiner. A constatação da normalidade em apenas um dos testes foi à condição utilizada para uso dos métodos estatísticos de controle de qualidade. No caso de nenhum dos testes apontarem normalidade, foram analisados os pontos extremos para verificação da normalidade.

Para a aplicação de técnicas de controle estatístico de processos é necessário que os dados estejam distribuídos normalmente. Os dados foram analisados temporalmente de forma anual, trimestral e mensal para avaliação da normalidade.

2.4 Gráficos de Controle

Foram utilizados para este trabalho os gráficos de controle de Shewhart. Estes gráficos permitem detectar a ocorrência de causas de variabilidade específicas para permitir uma ação corretiva.

Foram definidos critérios para verificação do não controle do processo (Smeti, 2007; Benneyan, 1998) pela existência de:

Teste 1: um ponto com valor maior do que 3 vezes o desvio padrão; Teste 2: 2 de 3 pontos com valores maiores do que 2 vezes o desvio padrão; Teste 3: 6 subgrupos consecutivos com tendência de

crescimento ou decaimento.

Os limites superiores e inferiores apresentados nesses gráficos foram calculados pelas eq. 1 e 2.

$$LCS = \mu + 3\,\sigma \quad (1)$$

$$LCI = \mu - 3\,\sigma \quad (2)$$

Onde LCS é o limite superior de controle, LCI é o limite inferior de controle, μ é a média e σ é o desvio padrão.

2.5 Índice de Capacidade do Processo

Foram calculados o índice de capacidade potencial (Cp) e o índice de desempenho (Cpk) do processo para a estação de tratamento de água para avaliar se a qualidade de água produzida atende as especificações normativas.

O Cp considera que o processo está centrado no valor nominal da especificação e é definido pela equação 3.

$$Cp = \frac{UEL-LEL}{6\sigma} \quad (3)$$

Onde: UEL é o limite superior de especificação e LEL é o limite inferior de especificação.

2.6 Limites de Especificação

Os limites de especificação (UEL and LEL) foram estabelecidos utilizando a portaria nº 518 de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde, que dispõe sobre o padrão de potabilidade.

3. Resultados

No Brasil a maioria das estações de tratamento de água são convencionais, ou seja, possuem processos físico-quimicos: coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção.

3.1 Estatística Descritiva

Utilizou-se um software estatístico para determinação de μ, σ, do coeficiente de variação (CV). A Tabela 1 apresenta os valores obtidos.

Tabela 1 - Estatística Descritiva pH e turbidez referentes ao anos 2007, 2008 e 2009.

	pH			**Turbidez**		
	μ	σ	Cv	μ	σ	Cv
Jan	6,55	0,11	1,68	0,61	0,17	27,87
Fev	6,54	0,14	2,14	0,59	0,19	32,20
Mar	6,54	0,14	2,14	0,58	0,20	34,48
Abr	6,62	0,15	2,27	0,36	0,13	36,11
Mai	6,60	0,13	1,97	0,38	0,12	31,58
Jun	6,59	0,15	2,28	0,40	0,13	32,50
Jul	6,60	0,18	2,73	0,38	0,11	28,95
Ago	6,62	0,16	2,42	0,34	0,14	41,18
Set	6,65	0,17	2,56	0,37	0,14	37,84
Out	6,61	0,13	1,97	0,43	0,12	27,91
Nov	6,56	0,14	2,13	0,42	0,11	26,19
Dez	6,51	0,15	2,30	0,42	0,12	28,57

O valor médio de pH foi de 6,58±0,14 que está acima do valor mínimo recomendado de 6,0 (Portaria 518/2004). O CV médio foi de 2,21%, que pode ser considerado baixo.

O valor médio da turbidez foi de 0,44±0,14 NTU. Este valor está abaixo do valor máximo de 1,0 NTU (Portaria 518/2004). Porém, o CV médio foi de 32,11%, que pode ser considerado alto. O valor máximo médio para o mês de janeiro é de 0,61 NTU e o valor mínimo médio para o mês de agosto é de 0,34 NTU.

3.2 Normalidade

Para as variáveis pH, turbidez e cloro foi constatada normalidade em todos os meses por pelo menos um dos métodos: D'Agostino-Pearson, Anderson-Daling e Ryan-Joiner.

3.3 Análise dos Limites Superiores e Inferiores de controle

O estudo de LCS e LCI é importante em uma estação de tratamento de água visando delimitar a faixa de operação dos processos relativos a água produzida. Nesta análise pode-se observar a variação da qualidade da água durante o ano. A Tabela 2 apresenta os limites de controle calculados e amplitude do pH e turbidez.

Tabela 2 - Limites de Controle e amplitude pH e turbidez.

	Ph			**Turbidez**		
	LCS	LCI	A	LCS	LCI	A
Jan	6,89	6,20	0,69	1,11	0,11	1,01
Fev	6,95	6,14	0,82	1,15	0,02	1,14
Mar	6,98	6,19	0,78	1,18	0,00	1,19
Abr	7,08	6,19	0,89	0,76	0,00	0,76
Mai	6,98	6,21	0,77	0,74	0,02	0,72
Jun	7,04	6,14	0,90	0,80	0,00	0,80
Jul	7,15	6,06	1,08	0,71	0,05	0,67
Ago	7,10	6,13	0,97	0,78	0,00	0,78
Set	7,15	6,15	0,99	0,80	0,00	0,80
Out	7,01	6,20	0,80	0,79	0,06	0,73
Nov	6,99	6,13	0,85	0,74	0,09	0,65
Dez	6,95	6,06	0,90	0,78	0,05	0,73

Para os valores de pH, tanto o LCS quanto o LCI possuem variações pequenas em relação a média, sendo menores que 5%. Neste caso, o pH não apresenta variação significativa durante o ano. O valor médio para LCS foi de 7,02 e para LCI foi de 6,15.

A turbidez foi quem apresentou uma maior variação para LCS e LCI. A covariação foi de 20.3% para LCS e mais de 100% para LCI, esta última devido a pequena magnitude dos valores.

Os maiores valores de turbidez são encontrados em janeiro, fevereiro e março, que correspondem aos meses de maior amplitude. Isto pode ser explicado pelo regime de chuvas da região, com precipitações maiores nestes meses, o que causa um aumento na concentração de sólidos suspensos da água bruta (Zhang et al., 2009).

3.4 Gráficos de Controle

O pH da água produzida é importante para controle de incrustação e corrosão em sistemas de distribuição de água e como parâmetro de qualidade de água. Foram realizados os testes 1, 2 e 3 para os dados de água produzida na ETA.

Para o teste 1, apenas o mês de outubro (Fig. 1) apresentou um ponto fora do limite superior, com valor de 7,05. Analisando o pH da água in natura e da água coagulada, não foram encontradas causas atribuídas aos valores observados que justifiquem essa alteração. Apesar disso, esses valores ainda se encontram dentro dos limites estabelecidos pela portaria nº 518/2004.

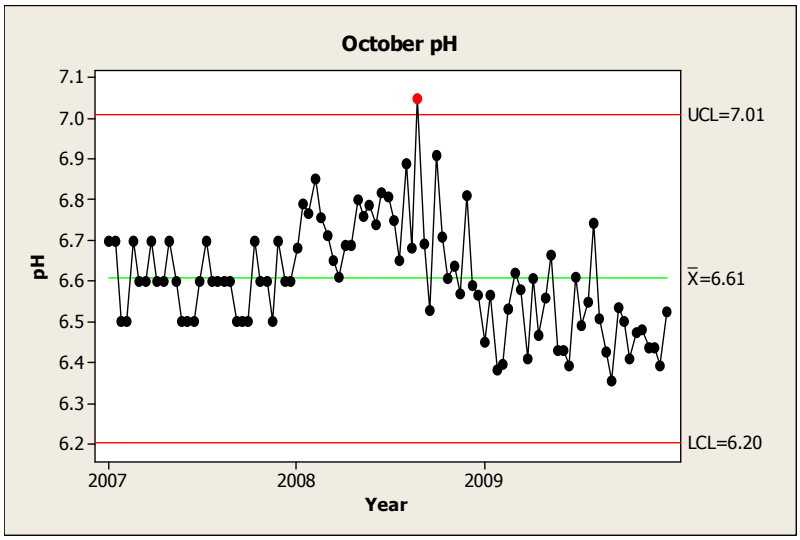

Fig. 1 - Gráfico de controle de pH do mês de outubro com outlier (Test 1).

O mês de abril apresentou confirmação para hipótese do teste 2. Este teste indica um estreitamento da faixa limite para análise de controle de processo em ETA.

Para o teste 3, os meses de abril, julho, novembro e dezembro, apresentaram confirmação da hipótese. Este teste é importante para indicar uma tendência no gráfico de controle, o que pode ser observado pelo aumento do pH de 6,44 a 6,91 (Fig. 2).

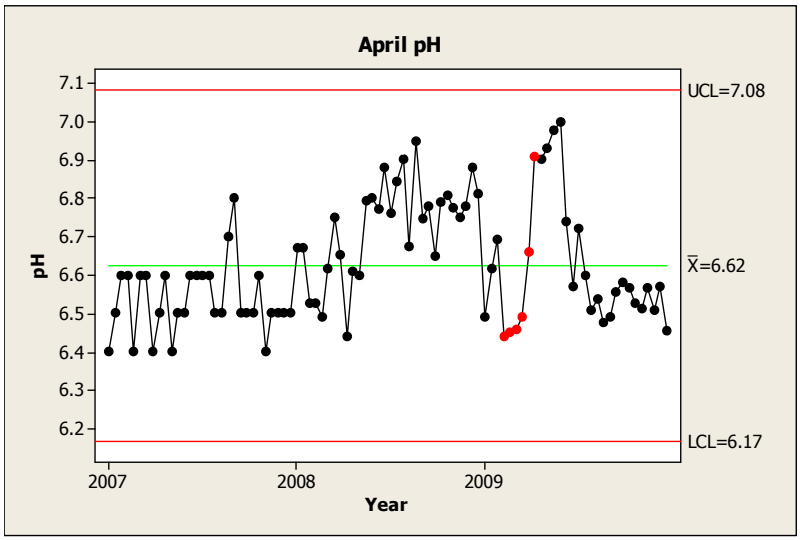

Fig. 2 - Gráfico de controle pH do mês de abril (Teste 3).

Na análise de turbidez, verificou-se pelo teste 1 (Figura 03), que o mês de julho está fora de controle estatístico com turbidez de 0,80 NTU. Este ponto está acima da LCS devido ao aumento repentino da turbidez da água in natura, de 169 para 358 NTU em um dia. Observa-se também, a pequena amplitude (0,67 NTU) ocorrida nos valores de turbidez.

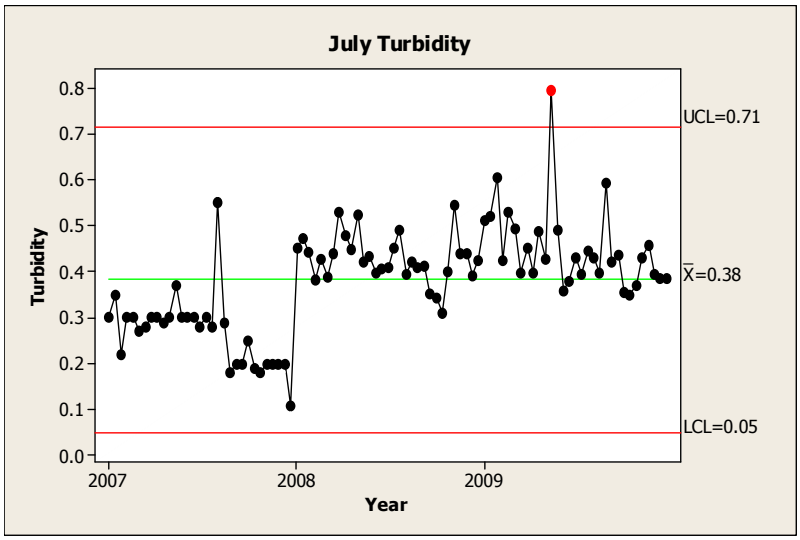

Fig. 3 - Gráfico de controle de turbidez do mês de julho com *outlier* (Teste 1).

Para o teste 2 foi verificada a confirmação da hipótese para o mês de novembro, devido ao aumento da turbidez máxima in natura de 78,5 para 151 NTU. Já para o teste 3, houve confirmação para o mês de maio.

3.5 Índice de capacidade potencial do processo e Índice de Desempenho

Para o cálculo de Cp e Cpk foram utilizados os limites da Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde do Brasil. O Cp do pH encontrado para todos os meses foi de processo potencialmente capaz, ou seja, a variação do pH para esta estação de tratamento de água está dentro dos limites de especificação.

O menor Cp obtido foi de 3,21 para o mês de julho. Este valor pode ser considerado alto comparado com empresas que possuem processos produtivos com alta capacidade de atendimento que utilizam Cp maior que 2,0 (MONTGOMERY, 1997).

O Cpk do UEL é potencialmente capaz para todos os meses, pois o valor do UEL é relativamente alto se comparado com a média. O menor Cpk do UEL obido foi de 5,32 no mês de julho. O Cpk do LEL foi 50% potencialmente capaz e 50% aceitável ou relativamente capaz.

Pode-se observar que apesar do Cp indicar que o processo é potencialmente capaz, o Cpk indica que a capacidade do processo relativa ao limite de especificação inferior é aceitável. Isto ocorre porque a média do pH é de 6,58, ou seja, próxima do LEL.

Os resultados de Cp para a turbidez foram 41,67% potencialmente capaz, 33,33% aceitável e 25% incapaz.

Os meses de janeiro, fevereiro e março apresentaram resultado incapaz para Cp e Cpk do UEL. Isto pode ser explicado pelos valores de turbidez média mensal da água bruta que variaram de 48 a 149 NTU, com valores relativamente altos para 2007. Para os outros meses o Cpk do UEL foi potencialmente capaz.

Para o Cpk do LEL, 58,33% é aceitável e 41,67% é incapaz. Esse valor está associado a probabilidade de exceder valores menores que 0, ou seja, esses resultados não possuem inferência real no processo.

4. Conclusão

Neste trabalho foram aplicadas técnicas de controle estatístico em uma ETA para as variáveis pH e turbidez. Pode-se observar que a analise de dados é dependente da escolha de intervalo de tempo (mensal, trimestral e anual) e da variação da qualidade da água bruta.

Os gráficos de controle são importantes para determinação de intervalos de operação e valores limites de atuação em WTP, principalmente para sistemas automatizados. Na operação, a turbidez é um parâmetro que deve ser utilizado como referência para controle do processo.

Os valores de LCS e LCI da água produzida podem ser comparados com os valores especificados por normas ou legislações de água potável. O cálculo de Cp e Cpk permite avaliar o desempenho do processo quanto a produção de água potável dentro dos valores limites especificados.

Assim, técnicas de controle estatístico de qualidade podem ser usadas para monitoramento do processo em ETAs, permitindo detectar causas de variabilidade e implementar ações corretivas.

5. Referências Bibliográficas

Benneyan, J. C. Use and interpretation of statistical quality control charts. International Journal for Quality in Health Care, v.10, n.1. p.69-73, 1998.

Cook, D. F.; Zobel, C. W.; Wolfe, M. L.. Environmental statistical process control using an augmented neural network classification approach. European Journal of Operational Research, 174, 2006, p. 1631–1642.

Iscen, C. F.; Emiroglu, O.; Ilhan, S.; Arslan, N.; Yilmaz, V.; Ahiska, S.. 2008. Application of multivariate statistical techniques in the assessment of surface water quality in Uluabat Lake, Turkey. Environmental Monitoring Assessment, 144, p. 269–276.

MONTGOMERY, D. C. Introduction to statistical quality control. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, 1997.

Muthukumaran, S.. 2011. Quantification of potable water savings by residential water conservation and reuse – A case study. Resources, Conservation and Recycling 55, 945– 952.

Ouyanga, Y.; Nkedi-Kizzab, P.; Wuc, Q.T.; Shindeb, D.; Huangd, C.H.. 2006. Assessment of seasonal variations in surface water quality. Water Research 40, p. 3800–3810.

Portaria do Ministério da Saúde no. 518/2004, de 25 de março. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental – Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2005. 28 p.

Smeti, E.M.. An approach for the application of statistical process control techniques for quality improvement of treated water. Science Direct. Desalination 213 (2007) 273–281.

UNESCO. 2009. The United Nations World Water Development Report 3, facts and figures.

Woodall, W. H. Controversies and Contradictions in Statistical Process Control. Journal of Quality Technology, Vol. 32 (4), 2000. 341-350.

Zhang, Y.; Guo, F.; Meng, F.; Wang, X.. Water quality assessment and source identification of Daliao river basin using multivariate statistical methods Environmental Monitoring. Assessment, 152, 2009 pg 105–121.