

## **XII-036 - ESTUDO DA CAPABILIDADE DE PROCESSO COM A FINALIDADE DE PROPOR O USO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO ESTUDO DE CASO – ETE BRASÍLIA SUL**

**Alda Walquiria Sales Melo<sup>(1)</sup>**

Engenheira Ambiental pela Universidade Católica de Brasília – UCB. Pós-Graduada em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Paulista – UNIP.

**Mauro Roberto Felizatto**

Engenheiro Químico pela Universidade Federal de Uberlândia - UFU. Mestre em Engenharia Civil pelo Programa de Pós Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos da Universidade de Brasília – UnB. Coordenador de Gerência da Área Noroeste da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB).

**Douglas José da Silva**

Engenheiro Químico pelo Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS-MG. Mestre em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá – UEM-PR. Doutor em Engenharia Civil Área de Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo – EESC-USP. Professor Adjunto da Universidade Católica de Brasília.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** SQB Quadra 2 Bloco H Aptº 104, Guará I, Guará - DF, CEP: 71009-000 – Brasil. Tel.: +55 (61) 9655-7556 – e-mail: aldawalquiria@yahoo.com.br

### **RESUMO**

Os processos de tratamento de águas residuárias estão sujeitos a variações que podem afetar a eficiência do sistema, tornando-os diferentes dos idealizados quando da realização do projeto. A comparação dos padrões de especificação com o desempenho natural da estação, possibilita o conhecimento da real situação do processo. O presente estudo buscou examinar a capacidade de processo da Estação de Tratamento de Esgoto Brasília Sul tendo como base a série histórica (1995-2007) e propor o uso do Controle Estatístico do Processo (CEP), com a finalidade de prevenir e detectar os desvios da qualidade causados por perturbações no processo. Acreditando ser a ETE uma indústria de transformação, adaptou-se para essa realidade o CEP, com o objetivo de comprovar sua eficiência em estações de tratamento de esgoto, visto que é uma metodologia utilizada no meio industrial. Para a utilização dessas ferramentas na gestão da qualidade, necessita-se que os dados se encontrem numa distribuição normal. A investigação da distribuição dos dados pôde ser feita por meio de dois coeficientes,  $g_1$  (assimetria) e  $g_2$  (curtose) e seus respectivos erros,  $s_{g1}$  e  $s_{g2}$ . Por meio deles verificou-se que nenhum dos parâmetros monitorados pela referida estação se encontravam em distribuição normal. Utilizou-se então de mecanismos de transformação dos dados. Com os dados transformados averiguou-se que o parâmetro DBO foi o único a apresentar uma distribuição normal. Após calcular a capacidade do processo de remoção do parâmetro DBO, inferiu-se que o processo é capaz de produzir itens de acordo com a especificação, ou seja, com valores de DBO do efluente encontrando-se dentro dos padrões de lançamento de efluentes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Capacidade, Controle Estatístico de Processo, Estação de Tratamento de Esgoto.

### **INTRODUÇÃO**

A água é uma das substâncias mais comuns existentes na natureza, sendo a sua disponibilidade um dos fatores limitantes a moldar os ecossistemas (JORDÃO e PESSÔA, 1995).

O crescimento das cidades se tornou uma constante, aumentando exponencialmente os esgotos lançados nos corpos hídricos próximos às aglomerações, e por isso, conservar a qualidade dos mesmos é um desafio constante para os profissionais da área de meio ambiente.

De acordo com Philippi Jr. (2005), pode-se considerar a ETE como indústria que recebe uma matéria bruta e a modifica, obtendo um produto final. Essa matéria seria a água residuária, que ao passar por um conjunto de processos de tratamento, transforma-se em efluentes.



Baseado nesse conceito, poderíamos então utilizar o CEP, que é um método que age preventivamente sobre o processo produtivo, utilizando a estatística como instrumento básico para avaliar suas alterações, como uma ferramenta em busca de aperfeiçoamento contínuo da qualidade (SOUZA e RIGÃO, 2005).

As variações sofridas nos processos de tratamento de águas residuárias podem afetar a eficiência do sistema, tornando-o diferente do idealizado quando da realização do projeto. Com o levantamento dos valores de dispersão natural do processo de uma ETE, é possível compará-los com os padrões de referência, empregando o método citado como uma ferramenta de auxílio no controle do processo, enfatizando sua contribuição na otimização do processo e na tomada de decisões, considerando que será possível visualizar se algum parâmetro encontra-se fora da conformidade (PINTO et al, 1991).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho, utilizou-se a série histórica da ETE Brasília Sul, sendo analisados os valores de monitoramento de afluente e efluente das águas residuárias tratadas na referida estação.

As águas residuárias produzidas pela população são direcionadas, depois de tratadas, à bacia de drenagem do Lago Paranoá, necessitando de um tratamento a nível terciário, com remoção de fósforo e nitrogênio (CAESB, 2007). A Figura 1 apresenta o detalhamento de todo o processo do tratamento de esgoto da ETE Brasília Sul.

Dentre os dados de monitoramento cedidos pela companhia foram escolhidos os parâmetros de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Suspensos (SS), Nitrogênio Total *Kjeldahl* (NTK) e Fósforo Total (PT). No desenvolvimento do trabalho foram utilizadas junto a essas siglas as terminações 'A' para afluente e 'F' para final.

Para verificação da distribuição dos dados foram investigados dois coeficientes,  $g_1$  (assimetria) e  $g_2$  (curtose) e seus respectivos erros,  $sg_1$  e  $sg_2$ . Quando a distribuição não se apresentava normal, foram utilizadas transformações matemáticas como mecanismos de transformação dos dados.

Quando a série de dados apresentou uma distribuição normal, independente da necessidade ou não da transformação matemática, seguiu-se à confecção dos gráficos de controle para verificação se os mesmos encontravam-se em controle estatístico.

Uma vez que o processo apresentou controle estatístico foi possível levantar a capacidade por meio dos índices,  $C_p$  - índice de capacidade baseado na dispersão do processo e  $C_{pk}$  - índice de capacidade baseado na posição do processo.

Se  $C_p \geq 1$  o processo é dito capaz, porém, se  $C_p < 1$  o processo é incapaz de atender aos limites de tolerância especificada.

Quando o processo demonstrou-se capaz, foi possível propor o uso contínuo do CEP. Em caso contrário, pode-se induzir que o método proposto não se aplica.

Os mesmos dados foram empregados na confecção dos gráficos de controle, os quais apresentam-se como uma forte ferramenta na gestão de processos. Assim, foi possível demarcar o Limite Superior de Controle (LSC), Limite Inferior de Controle (LIC) e a Média, delimitando uma área segura na qual o processo deveria permanecer.

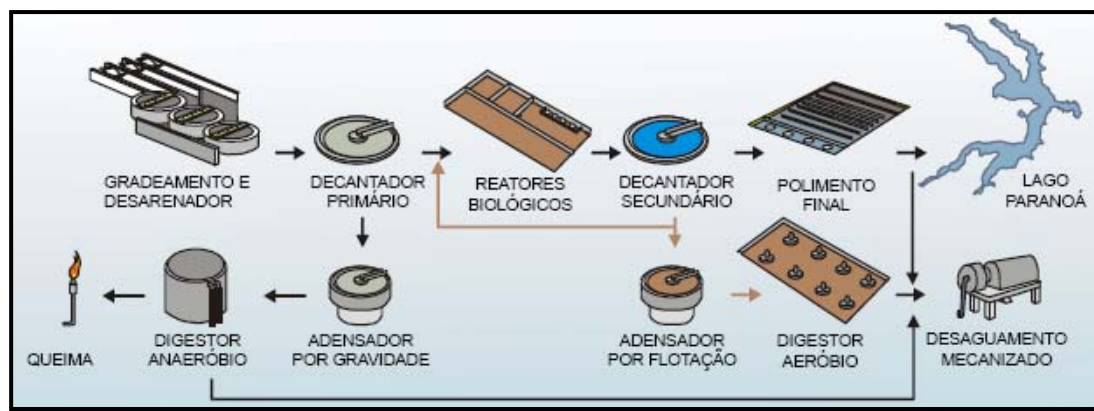


Figura 1: Detalhamento do processo de tratamento de esgoto da ETE Brasília Sul  
Fonte: CAESB, 2007.

### • DISTRIBUIÇÃO NORMAL, ASSIMETRIA( $g_1$ ) E CURTOSE( $g_2$ )

Para aplicar-se a grande maioria dos testes paramétricos e métodos estatísticos conhecidos, é importante que as variáveis estejam em uma distribuição normal. Desta maneira, calculou-se a assimetria e curtose.

A investigação da assimetria das distribuições é significativa, pois por meio dela é possível analisar se os desvios da curva são para direita (assimetria positiva) ou para esquerda (assimetria negativa), ou seja, se é expressivo o alongamento de uma das caudas da distribuição, à direita ou à esquerda da média (BEIGUELMAN, 1996).

A demonstração do coeficiente  $g_1$  e seu erro estão representados nas Equações 1, 2, 3 e 4. O cálculo do coeficiente  $g_1$  foi realizado conforme a Equação 1, onde  $m_2$  e  $m_3$  representam o momento centrado na média e podem ser calculados conforme apresentado nas Equações 2 e 3.

$$g_1 = \frac{m_3}{\sqrt{m_2^3}} \quad \text{equação(1)} \quad m_2 = \frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n} \quad \text{equação(2)} \quad m_3 = \frac{\sum(x - \bar{x})^3}{n} \quad \text{equação(3)}$$

Na Equação 2 e 3,  $x$  é o valor de cada elemento que compõem o conjunto,  $\bar{x}$  é a média aritmética desses elementos,  $n$  é o número total de elementos.

O erro de  $g_1$  pode ser calculado a partir da fórmula representada na Equação 4, em que, 6 é uma constante e  $n$  o número total de indivíduos no conjunto de dados.

$$s_{g1} = \sqrt{\frac{6}{n}} \quad \text{equação (4)}$$

Matematicamente, para se certificar que um determinado conjunto de amostras possua uma distribuição normal, ou seja, verificar se o  $g_1$  se desvia significativamente de zero, calcula-se a razão entre  $g_1$  e  $s_{g1}$ , obtendo-se um 't' que deve ser comparado a um t crítico com infinitos graus de liberdade ao nível de significância de 5% ( $t_c = \pm 1,960$ ), e pode ser chamado de erro padrão. Um valor de  $t \geq 1,960$  indicará que  $g_1$  é significativamente maior do que zero (assimetria positiva), por outro lado um valor de  $t \leq -1,960$  indicará que  $g_1$  é significativamente menor do que zero (assimetria negativa). Se o valor de 't' estiver dentro da faixa  $\pm 1,960$ ; então é possível dizer que a distribuição é normal (BEIGUELMAN, 1996).

Tudo que foi exposto anteriormente sobre o coeficiente  $g_1$ , deve-se aplicar também ao coeficiente  $g_2$ . O cálculo do coeficiente  $g_2$  foi realizado conforme a Equação 5, em que,  $m_2$  e  $m_4$  representam o momento centrado na média e pode ser calculado da forma como é apresentado nas Equações 2 e 6. Na Equação 6,  $x$  é o valor de cada elemento que compõem o conjunto,  $\bar{x}$  é a média aritmética desses elementos,  $n$  é o número



total de elementos. O erro de  $g_2$  pode ser calculado a partir da fórmula representada na Equação 7, em que 24 é uma constante e  $n$  o número total de indivíduos no conjunto de dados.

$$g_2 = \frac{m_4}{\sqrt{m_2^2}} \quad 3 \text{ - equação(5)}$$

$$m_4 = \frac{\sum (x - \bar{x})^4}{n} \quad \text{equação(6)}$$

$$s_{g_2} = \sqrt{\frac{24}{n}} \quad \text{equação(7)}$$

## • CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO

Deve ser desenvolvido um sistema para obtenção dos dados, que é a base para a coleta e registro das informações. No caso em questão a base de dados já existia, tratando-se da série histórica da ETE Brasília Sul.

Com os dados obtidos gera-se um gráfico de controle, que contém dois segmentos de retas paralelas horizontais, que definem os Limites de Controle do Processo (LCP), e um segmento de reta horizontal, que corresponde ao valor médio. Os LCPs são determinados considerando-se  $3\sigma$  para o limite superior e  $-3\sigma$  para o limite inferior, em relação à média das medidas estatísticas. Por meio do gráfico de controle é possível analisar a dispersão do processo.

Um ponto que incida fora dos limites de controle do processo sugere a existência provável de uma causa especial. Um processo pode ser considerado sob controle estatístico quando as causas especiais foram suprimidas, apresentando somente causas comuns (NB-1326/1990).

As medidas de posição e medidas de dispersão foram calculadas de acordo com a média e amplitude do processo. Os limites de controle das medidas de posição foram calculados conforme fórmulas representadas nas Equações 8 a 10.

$$LSC = \bar{\mu} + A_2 \bar{R} \quad \text{equação (8)}$$

$$LIC = \bar{\mu} - A_2 \bar{R} \quad \text{equação (9)}$$

$$R_j = x_{j\max} - x_{j\min} \quad \text{equação (10)}$$

Em que, LSC é o limite superior de controle, LIC é o limite inferior de controle,  $A_2$  é o valor tabelado apresentado por Triola (2005),  $R_j$  é a amplitude,  $\bar{R}$  é a média da amplitude e  $\bar{\mu}$  é a média das médias dos subgrupos. Os cálculos dos limites de controle das medidas de dispersão foram realizados de acordo com as Equações 11 e 12.

$$LSC = D_4 \bar{R} \quad \text{equação (11)}$$

$$LIC = D_3 \bar{R} \quad \text{equação (12)}$$

Em que, LSC é o limite superior de controle, LIC é o limite inferior de controle,  $D_3$  e  $D_4$  são valores tabelados apresentados por Triola(2005) e  $\bar{R}$  a média da amplitude.

## • CAPABILIDADE DE PROCESSO

A capacidade é medida pela comparação da dispersão do processo com as especificações exigidas do produto, no presente estudo o efluente, quando calculada com base em dados obtidos do processo em estado de controle estatístico durante um período de tempo.

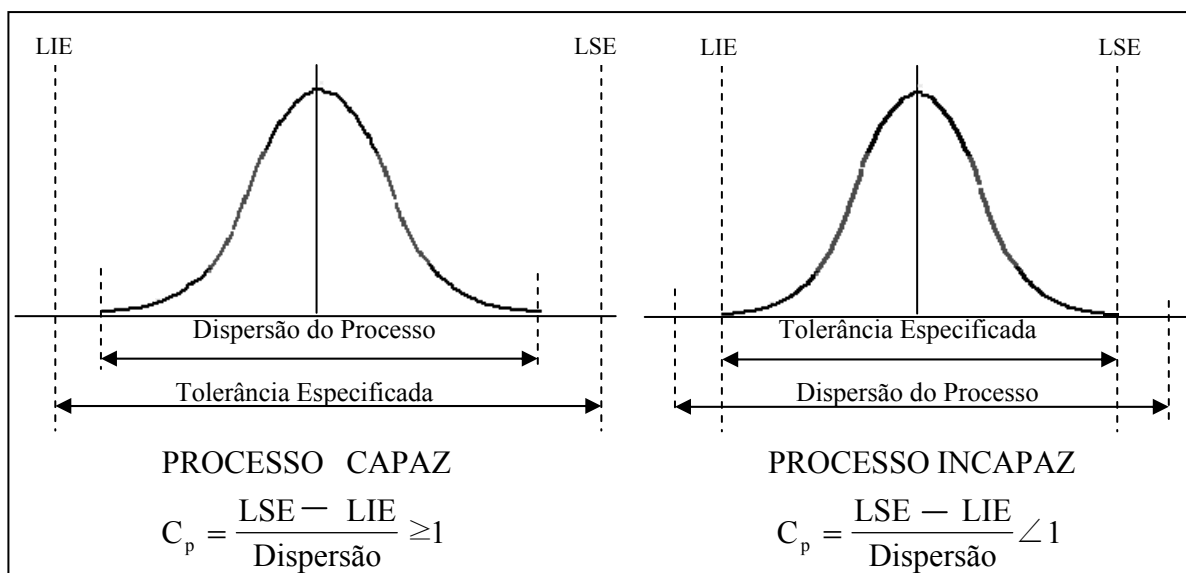
Com a geração do gráfico de controle estatístico de processo é possível verificar se o processo alcançou o estado de controle estatístico, para posterior comparação da dispersão do processo com a tolerância de especificação do produto. Deve-se considerar o efluente como o produto final da ETE, e assumir como valores de tolerância da especificação os definidos no encarte descritivo de informações técnicas da ETE Brasília Sul. Essa comparação determinou a capacidade do processo.

Utilizando a série histórica da ETE Brasília Sul, foram seguidas as etapas supracitadas a fim de verificar se o processo é capaz ou incapaz de atender aos valores de tolerância de especificação. O cálculo da capacidade do processo foi realizado utilizando os índices de capacidade.



O cálculo do índice de capacidade ( $C_p$ ) pode ser realizado através da fórmula representada na Equação 13, em que, LSE é o limite de especificação superior, LIE o limite de especificação inferior e  $\sigma$  o desvio padrão dos dados amostrados. Demonstração da capacidade de um processo pode ser acompanhada na Figura 2.

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad \text{equação(13)}$$



**Figura 2: Demonstração da capacidade de um processo**  
Adaptada NB-1326/1990

A porcentagem de valores obtidos fora dos limites de especificação pode ser determinada pelo fator  $Z$  conforme dados tabelados apresentados por Triola (2005), e pelas Equações 14 e 15. Em que,  $Z_s$  é o fator  $Z$  para o limite superior de especificação,  $Z_l$  é o fator  $Z$  para o limite inferior de especificação,  $\bar{\mu}$  é a média das médias dos subgrupos amostrados e  $\sigma$  é o desvio padrão.

$$Z_s = \frac{LSE - \bar{\mu}}{3\sigma} \quad \text{equação (14)}$$

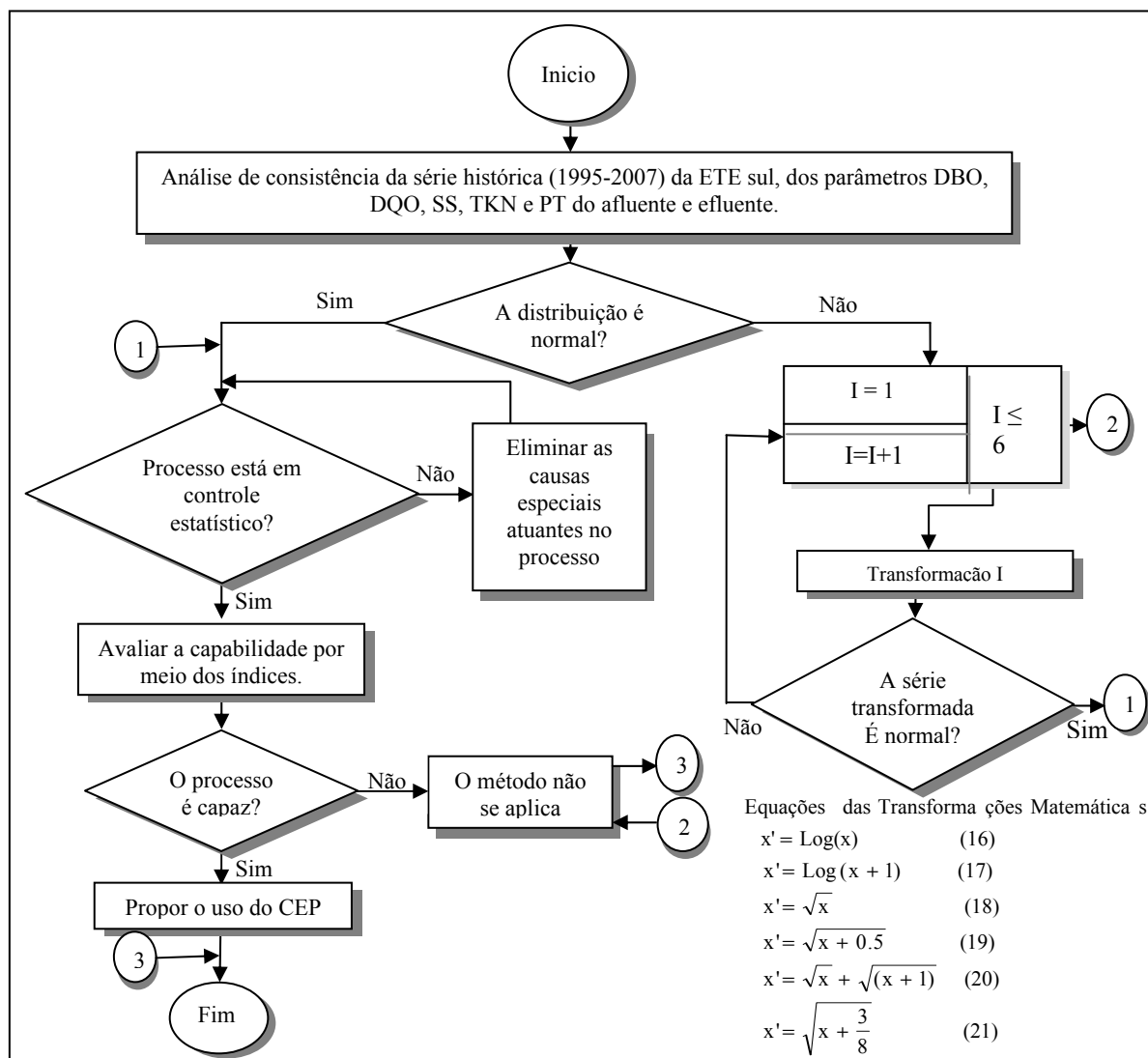
$$Z_l = \frac{\bar{\mu} - LIE}{3\sigma} \quad \text{equação (15)}$$

Se fator  $Z < 1$ , a probabilidade da porcentagem de produtos fora do limite de especificação pode ser obtida em tabela contida na NB-1326/1990.

O menor dos dois fatores  $Z$ , para uma determinada característica, é um índice de capacidade ( $C_{pk}$ ) que relaciona a capacidade do processo ao posicionamento do processo.

## • FLUXOGRAMA

Na busca de melhor aperfeiçoar o exame dos dados, os resultados foram submetidos à metodologia demonstrada no fluxograma da Figura 3. Os dados foram submetidos às transformações demonstradas nas Equações 16 à 21.



**Figura 3: Fluxograma de metodologia para análise estatística dos dados**

Inicialmente analisou-se a consistência dos dados, para averiguação de possíveis erros de medições e anotações. Uma vez identificados valores discrepantes procedeu-se a retirada dos mesmos da amostra.

A primeira pergunta do fluxograma é se a distribuição dos dados é normal, visto que para Beiguelman (1996); Zar (1996) a distribuição teórica de frequências mais significativa é a normal, por ser uma distribuição conhecida há aproximadamente três séculos e a sua manipulação permitir extrair numerosas conclusões teóricas de aplicação prática.

Calculou-se os coeficientes  $g_1$  e  $g_2$  para investigar a assimetria e curtose respectivamente.

Como exposto no fluxograma da Figura 3, não atendendo a normalidade da série de dados, a próxima etapa é a transformação dos dados. No caso de permanecer a não conformidade à curva normal, mesmo depois das tentativas de transformações matemáticas, infere-se que o método sugerido não se aplica, pois para a continuidade da proposta de trabalho, que seria a construção dos gráficos de controle e proposta do uso contínuo do CEP, pressupõe-se uma distribuição normal da série de dados.

Em contrapartida, quando a série de dados apresentados demonstrou uma distribuição normal, seguiu-se a confecção dos gráficos de controle.

É relevante ser mencionado que este método é proposto para uso contínuo, onde, na detecção de uma possível causa especial, abrirá espaço para que o gestor do processo investigue onde ocorreu a falha e possa corrigi-la,





eliminando-a. No presente trabalho não poderia ser empregado tal procedimento, por se tratar da análise de série histórica, mesmo apresentando causas especiais deu-se continuidade a metodologia com o intuito de demonstrar o método.

A próxima etapa da metodologia foi levantar a capacidade do processo por meio dos índices  $C_p$  e  $C_{pk}$ .

Quando o processo demonstrou-se capaz, foi possível propor o uso contínuo do CEP. Em caso contrário, pode-se induzir que o método proposto não se aplica.

Os procedimentos expostos no fluxograma da Figura 3 foram desenvolvidos para cada parâmetro analisado.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### • PARÂMETROS

Os parâmetros escolhidos para o desenvolvimentos deste trabalho foram DQO, DBO, SS, NTK e PT por representarem os mais importantes. Nutrientes como fósforo e nitrogênio são responsáveis pela proliferação de algas em ambientes lênticos, sendo importante o controle e monitoramento de emissões desses parâmetros nesses ambientes. A demanda de oxigênio representa a quantidade de oxigênio dissolvido na água necessária para a decomposição da matéria orgânica, portanto, é significativa para se conhecer o grau de poluição da água residuária. Os sólidos suspensos em excesso na água elevam o nível de turbidez e impedem a penetração da luz nos corpos hídricos, diminuindo a vida no ecossistema.

### • DISTRIBUIÇÃO NORMAL

Após a análise de consistência dos dados, calculou-se os valores de assimetria ( $g_1$ ) e curtose ( $g_2$ ), e seus respectivos erros ( $s_{g1}$  e  $s_{g2}$ ), para todos os parâmetros analisados do afluente e efluente da série histórica da ETE Brasília Sul, a fim de verificar se os dados encontravam-se em uma distribuição normal.

Como citado anteriormente, para que os dados tenham normalidade é imprescindível que a razão entre a assimetria/erro e a curtose/erro estejam contidas na faixa entre 1,96 e -1,96; valores fora desse intervalo mostram que a distribuição não é normal. Os valores dos cálculos de assimetria e curtose e seus respectivos erros para os parâmetros DBO, DQO, SS, NTK e PT; do afluente e efluente antes das transformações são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1: Valores de assimetria ( $g_1$ ) e curtose ( $g_2$ ) e seus respectivos erros para os parâmetros analisados**

| PARÂMETRO | n    | $\sigma$ | $g_1$ | $s_{g1}$ | $g_1/s_{g1}$ | $g_2$  | $s_{g2}$ | $g_2/s_{g2}$ |
|-----------|------|----------|-------|----------|--------------|--------|----------|--------------|
| DBOA      | 444  | 129,44   | 1,69  | 0,12     | 14,08        | 4,68   | 0,23     | 20,34        |
| DQOA      | 1488 | 212,07   | 0,85  | 0,06     | 14,16        | 0,46   | 0,12     | 3,83         |
| SSA       | 1569 | 143,59   | 2,32  | 0,06     | 38,66        | 7,70   | 0,12     | 64,17        |
| NTKA      | 1574 | 16,02    | 12,21 | 0,06     | 203,50       | 251,75 | 0,12     | 2097,92      |
| PTA       | 1573 | 3,97     | 7,51  | 0,06     | 125,17       | 92,78  | 0,12     | 773,17       |
| DBOF      | 415  | 5,91     | 1,96  | 0,12     | 16,33        | 5,38   | 0,24     | 22,42        |
| DQOF      | 1594 | 10,98    | 0,54  | 0,06     | 9,00         | 3,60   | 0,12     | 30,00        |
| SSF       | 1486 | 5,56     | 4,26  | 0,06     | 71,00        | 44,91  | 0,13     | 345,46       |
| NTKF      | 1581 | 6,47     | 1,50  | 0,06     | 25,00        | 2,34   | 0,12     | 19,50        |
| PTF       | 1591 | 0,47     | 13,83 | 0,06     | 230,50       | 285,47 | 0,12     | 2378,92      |

Nenhum dos parâmetros analisados apresentava-se como uma distribuição normal, utilizou-se então de algumas ferramentas de transformações em busca da adequação desses valores.

## • TRANSFORMAÇÕES DOS DADOS

Na busca por normalizar a distribuição dos parâmetros analisados foram feitas algumas tentativas de transformação dos dados. Após a realização de seis transformações, apenas em um parâmetro, a DBO, foi alcançada a finalidade com a transformação Log (x+1), apresentada na Tabela 2. Aplicou-se o cálculo da capacidade para o parâmetro DBO, com o intuito de demonstrar o método proposto.

**Tabela 2: Valores obtidos com transformação dos parâmetros em Log (x +1)**

| Log (x +1)  | n    | $\sigma$ | $g_1$ | $s_{g1}$ | $g_1/s_{g1}$ | $g_2$ | $s_{g2}$ | $g_2/s_{g2}$ |
|-------------|------|----------|-------|----------|--------------|-------|----------|--------------|
| <b>DBOA</b> | 444  | 0,19     | 0,03  | 0,12     | 0,25         | 0,23  | 0,23     | 1,00         |
| <b>DQOA</b> | 1488 | 0,21     | -4,77 | 0,06     | -79,50       | 59,05 | 0,12     | 492,08       |
| <b>SSA</b>  | 1569 | 0,25     | -0,99 | 0,06     | -16,50       | 9,90  | 0,12     | 82,50        |
| <b>NTKA</b> | 1574 | 0,13     | -3,64 | 0,06     | -60,67       | 57,32 | 0,12     | 477,67       |
| <b>PTA</b>  | 1573 | 0,14     | 0,94  | 0,06     | 15,67        | 6,86  | 0,12     | 57,17        |
| <b>DBOF</b> | 415  | 0,26     | 0,07  | 0,12     | 0,58         | -0,14 | 0,24     | -0,58        |
| <b>DQOF</b> | 1594 | 0,14     | -1,20 | 0,06     | -20,00       | 3,25  | 0,12     | 27,08        |
| <b>SSF</b>  | 1486 | 0,19     | 0,45  | 0,06     | 7,50         | 0,89  | 0,13     | 6,85         |
| <b>NTKF</b> | 1581 | 0,24     | 0,28  | 0,06     | 4,67         | -0,45 | 0,12     | -3,75        |
| <b>PTF</b>  | 1591 | 0,08     | 4,65  | 0,06     | 77,50        | 35,13 | 0,12     | 292,75       |

## • CAPABILIDADE DE PROCESSO

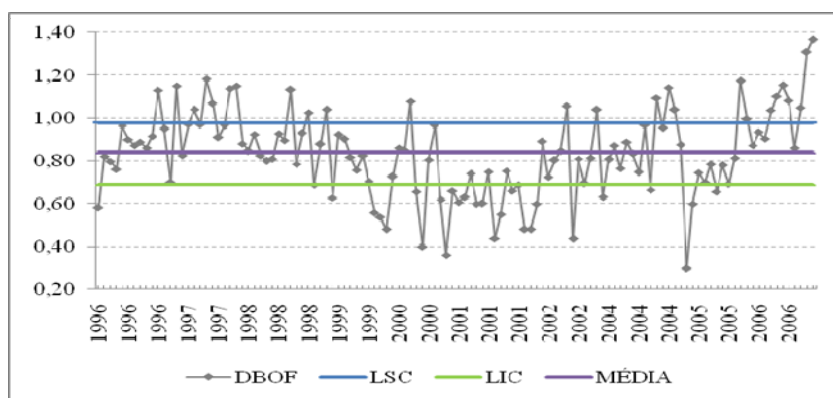
Embora com a transformação Log (x+1) tenha sido obtida uma distribuição normal para o parâmetro DBO afluente e efluente, os cálculos referentes à capacidade foram realizados somente para o parâmetro DBOF, por se tratar do objeto do estudo.

Primeiramente confeccionou-se o gráfico de controle. Optou-se por trabalhar com o gráfico de controle da amplitude devido sua simplicidade dos cálculos. Os valores das medições do parâmetro DBOF foram divididos em subgrupos. Cada subgrupo continha as médias mensais de cada ano da série. Da série histórica (1995-2007) da ETE Sul foram extraídos os anos de 1995, 2003 e 2007, devido a estes estarem incompletos.

### ▪ MEDIDAS DE POSIÇÃO

Os cálculos dos limites de controle das medidas de posição foram realizados aplicando-se as Equações 8 à 10.

O valor obtido para LSC foi de 0,98; para LIC de 0,69; e a média desses valores igual 0,84. Os valores empregados para a resolução das Equações aqui expostas encontram-se em Log (x+1). A Figura 4 apresenta o gráfico de controle dos valores de DBOF para as medidas de posição da série histórica (1996-2006) da ETE Brasília Sul.



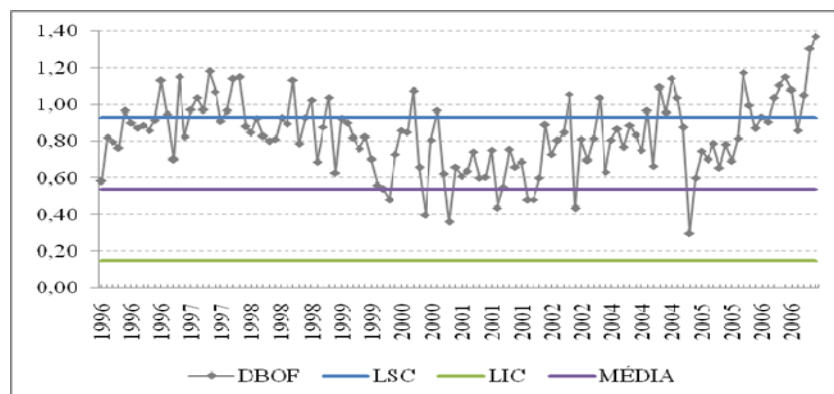
**Figura 4: DBO efluente com limites de controle das medidas de posição da série histórica da ETE Sul**





## ▪ MEDIDAS DE DISPERSÃO

Os cálculos dos limites de controle das medidas de dispersão foram realizados de acordo com as Equações 11 e 12. Encontrou-se o valor de 0,93 para LSC e de 0,15 para LIC, obtendo como média desses valores 0,54. A Figura 5 apresenta o gráfico de controle para as medidas de dispersão dos valores de DBOF da série estudada.



**Figura 5: DBO efluente com limites de controle das medidas de dispersão da série histórica da ETE Sul**

Dos pontos plotados nas Figuras 4 e 5, 22 % e 30% respectivamente, apresentaram-se fora dos limites de controle calculados sobre o funcionamento natural do processo de tratamento, para o parâmetro DBOF da ETE Sul. Esses pontos indicam a existência de prováveis causas especiais.

No futuro, caso esta metodologia venha a ser implantada, quando do acompanhamento do processo, identificado o desvio, os gráficos de controle serão um auxílio ao gestor, na inferência de quando as variações devido às causas especiais estarão ou não afetando o processo. É importante que sejam sanadas as causas especiais a fim de restabelecer o estado de controle estatístico do processo, ou seja, que todas as causas especiais sejam eliminadas.

Tratando-se de uma série histórica e sendo o intuito do presente estudo a demonstração do método, mesmo diante da incidência de tais pontos foi dada continuidade ao desenvolvimento do trabalho.

## ▪ ÍNDICES DE CAPABILIDADE DO PROCESSO

Utilizando a série histórica a fim de verificar se o processo é capaz ou incapaz de atender aos valores de especificação, foram efetuados os cálculos referentes à capacidade do processo, realizados utilizando os índices de capacidade do processo  $C_p$  e  $C_{pk}$ .

O índice de capacidade  $C_p$  leva em consideração a dispersão do processo, e foi calculado aplicando-se a Equação 13. Em que, o desvio padrão ( $\sigma$ ) é igual a 0,20; o valor atribuído ao limite superior de especificação (LSE) é igual a 1,32 e o valor estipulado ao limite inferior de especificação (LIE) igual a 0, obtendo-se valor de  $C_p$  igual a 1,10. Se quando  $C_p \geq 1$  o processo é dito capaz, então, podemos inferir que o processo de tratamento de águas residuárias para o parâmetro DBO da ETE Sul é capaz de atender aos limites de especificação.

O menor dos dois fatores Z, para uma determinada característica, é o índice de capacidade  $C_{pk}$  que relaciona a capacidade do processo ao posicionamento do processo.

A porcentagem de valores obtidos fora dos limites de especificação pode ser determinada pelo fator Z conforme tabela consultada de Triola (2005), e pela aplicação das Equações 14 e 15.

Para o cálculo do fator Z, foi atribuído ao LSE o valor de 20mg/L baseado no que afirmam Jordão e Pessoa (1995), que os valores de efluentes de DBO devem estar contidos na faixa de 20 a 30mg/L, visto que a Resolução CONAMA 357/2005 que estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes não apresenta valores para emissões de DBO, fazendo-se necessário a busca por alternativas de comparação.



Da mesma forma foi estipulado valor zero ao LIE por não ser coerente atribuir um valor específico, pois quanto menores sejam os valores de DBO no efluente, caracteriza uma melhor eficiência do processo.

Obteve-se valor  $Z_s$  (fator Z para o limite superior de especificação) igual a 0,81 e de  $Z_l$  (fator Z para o limite inferior de especificação) igual a 1,38.

$$Z_s = 0,81 \text{ e } Z_l = 1,38$$

$$Z_s < Z_l$$

$$\text{Então, } Z_s = C_{pk}$$

Para valores de Z menores que 1, a probabilidade da porcentagem de produtos fora do limite de especificação pode ser encontrada em tabela da NB-1326/1990. Para o fator  $Z_s = 0,81$ , a probabilidade de produtos fora dos limites é de 0,8%. Conforme demonstrado na Figura 6, apenas um ponto apresentou fora dos limites de especificação.

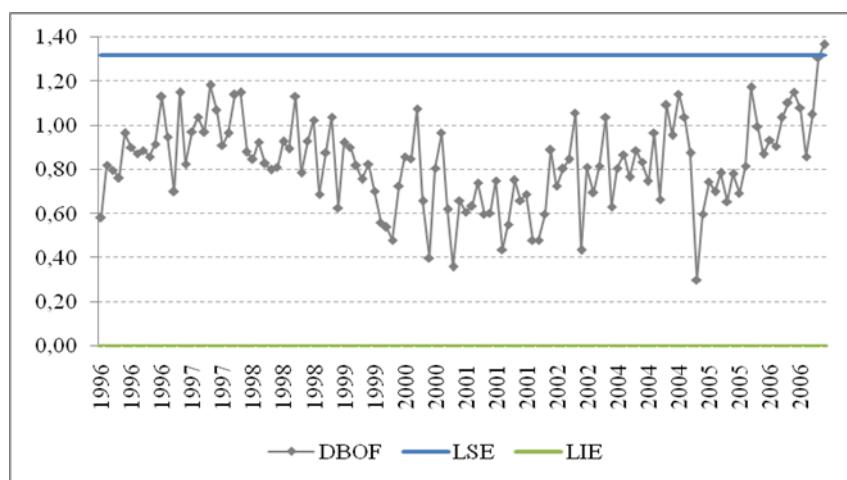


Figura 6: DBO Efluente com Limites de Especificação da série histórica da ETE Sul

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos da análise da série histórica permitem apresentar conclusões e recomendações que se seguem:

Os dados monitorados DBO, DQO, SS, NTK e PT; do afluente e efluente não apresentaram uma distribuição normal, sendo necessário o uso de ferramentas de transformação dos dados para enquadrá-los em uma curva normal.

Após a transformação dos dados analisados, a fim de convertê-los a uma distribuição normal, apenas o parâmetro DBO (afluente e efluente) alcançou o objetivo. Os cálculos foram realizados apenas para o DBOF por se tratar do produto final.

Com a confecção dos gráficos de controle das medidas de posição e dispersão pôde-se inferir que alguns valores do parâmetro DBOF da ETE Sul apresentaram-se fora dos limites do controle do processo. Esses pontos indicam a existência de prováveis causas especiais. No caso de adoção desta metodologia para o acompanhamento do processo, são necessárias que sejam sanadas as causas especiais com a finalidade de restabelecer o estado de controle estatístico do processo.

O valor encontrado para capacidade do processo do parâmetro DBOF atende ao limite especificado de padrões de lançamento de efluentes, por obter valor de  $C_p = 1,10$ ; comparando-se com a NB-1326/1990, que recomenda como valor de referência para um processo capaz  $C_p \geq 1$ .



Para um melhor resultado do método proposto, CEP, sugere-se que o levantamento da capacidade e construção dos gráficos de controle sejam feitos em intervalos de um ano, que servirá de referência para o acompanhamento dos dados do ano seguinte, em busca da otimização e estabilidade do processo.

No caso da adoção dessa metodologia para acompanhamento do processo, recomenda-se a elaboração de um manual com métodos e procedimentos de atuação para correção de possíveis causas especiais e desvios da qualidade.

Os procedimentos realizados levam a otimização do processo tendo assim, uma maior agilidade em tomadas de decisões, no entanto, são dados que auxiliam as opiniões e não substituem as técnicas, pois sem elas, não haveria a possibilidade de detectar as causas, soluções e mitigar o problema.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. ABNT. NB-1326. Controle Estatístico para prevenção e detecção de desvio da qualidade, durante processos de fabricação, por meio de gráficos. Rio de Janeiro. 1990. 23 p.
2. BEIGUELMAN, B. Curso Prático de Bioestatística. Ribeirão Preto: Revista Brasileira de Genética, 1996.
3. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente: Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº. 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>, acesso em: 07 maio 2007.
4. CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. Disponível em: <<http://www.caesb.df.gov.br/intranet/fmLogIntranet.asp>>. Acesso em: 06 de setembro de 2007.
5. FELIZATTO, Mauro Roberto. Reúso de água em piscicultura no Distrito Federal: Potencial para pós-tratamento de águas residuárias associado à produção de pescado. Brasília, 2000. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília, 2000. 175 p.
6. JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSÔA, Constantino Arruda. Tratamento de Esgotos Domésticos. 3. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, 1995. 720 p.
7. PHILIPPI JR., Arlindo. Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri, SP: Manole, 2005. 842 p.
8. PINTO, Marcelo A. Teixeira; NEDER, Klaus Dieter; MACHADO, Adalete F. A utilização do Controle Estatístico como meio de referência e otimização do processo de tratamento de esgotos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 16., 1991, Rio de Janeiro. Anais ABES. Rio de Janeiro, 1991. P. 83-95.
9. Programa de Recuperação do Lago Paranoá. Estações de tratamento de esgotos: informações técnicas. SEEBLA – Engenharia de Projetos. S/D.
10. SOUZA, Adriano Mendonça; RIGÃO, Maria Helena. Identificação de variáveis fora de controle em processos produtivos multivariados. Revista Produção. v. 15, n. 1, p. 074-086. Jan/Abril. 2005-. Quadrimestral.
11. TRIOLA, Mario F. Introdução à estatística. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005. 656 p.
12. ZAR, Jerrold H. Biostatistical Analysis. 3rd ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1996. 662p.