



**XI SILUBESA**

***Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental***

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

## **II-069 – AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE UM SISTEMA DE LODOS ATIVADOS POR REATOR VERTICAL PROFUNDO EM ESCALA REAL**

### **Clécio Eustáquio Gomides**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (EE-UFGM). Consultor da Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais -FEAM-MG.

### **Marcos von Sperling(1)**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais. Doutor em Engenharia Ambiental pelo Imperial College (Universidade de Londres). Professor adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais - UFGM.

**Endereço(1):** Av. Contorno, 842 / 7º andar - Centro – Belo Horizonte - MG - CEP: 30110-060 - Brasil - Tel: +55 (31) 3238-1935 - Fax: +55 (31) 3238-1882

 [marcos@desa.ufmg.br](mailto:marcos@desa.ufmg.br)

### **RESUMO**

O presente trabalho tem por objetivo avaliar o comportamento de uma variante dos lodos ativados por reator vertical profundo em escala real. Este sistema é relatado na literatura como tendo algumas vantagens marcantes, tais como requisitos de área reduzidos, pequeno gasto de energia e resistência a choques de carga.

A pesquisa foi realizada em uma ETE em escala real, instalada na sede do Inmetro no Rio de Janeiro, tratando os despejos sanitários da instituição. O monitoramento foi feito durante 8 meses, contemplando análises físicas, físico-químicas e bacteriológicas. Um aspecto de especial interesse na pesquisa é o entendimento do comportamento do reator vertical profundo, que possui 38 cm de diâmetro e 61 m de profundidade.

Os resultados da pesquisa mostraram que a ETE avaliada opera de maneira razoável, cumprindo, em valores médios, com os padrões de lançamento do Rio de Janeiro. No entanto, seu desempenho esteve aquém do esperado para um sistema de lodos ativados. Este fato foi explicado pela baixa capacidade do sistema em reter biomassa, apresentando uma concentração média no reator de apenas 312 mg SSV / L.

Foram verificadas as seguintes eficiências médias de remoção: 60 % para DBO, 51 % para DQO, 61% para SST, 21% para NTK e 98 % para *Escherichia coli*. As concentrações efluentes médias foram: 56 mg/L de DBO, 138 mg/L de DQO, 61 mg/L de SST, 9 mg/L de NTK e  $4,66 \times 10^5$  NMP/100 mL de *Escherichia coli*. O sistema apresentou também valores bastante singulares para alguns parâmetros de projeto e operação, podendo-se citar: 68 min para o tempo de detenção hidráulica no reator vertical, 8,6 h para a idade do lodo, 6 kg DBO/kgSSV.d para a relação A/M e 0,78 kg SST/kgDBO removida para a produção de lodo.

O perfil vertical do reator apresentou uma concentração de sólidos substancialmente maior que no tanque de equalização, confirmando uma certa acumulação de sólidos em seu interior, ainda que insuficiente. Os valores encontrados para OD no interior do reator também foram elevados, com média de 4,4 mg/L, valor este bastante superior às necessidades da biomassa presente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lodos Ativados, Poço Profundo, Esgoto, Tratamento e Eficiência.

## INTRODUÇÃO

Os processos de tratamento por lodos ativados são dos que apresentam maior eficiência na remoção da matéria orgânica, sendo os mais difundidos no mundo, no tratamento de esgotos domésticos e industriais, sobretudo quando se deseja uma elevada qualidade do efluente final. Existem diversas variantes destes sistemas, dentre elas a convencional, a por aeração prolongada, aeração modificada e reatores verticais profundos. Os sistemas convencional e por aeração prolongada são os mais utilizados e sobre os quais se possui maior conhecimento e bibliografia. Já os reatores verticais profundos, cujo representante mais conhecido é o *Deep Shaft*, são menos difundidos e existem relativamente poucos estudos a seu respeito.

Estes reatores possuem geralmente formato cilíndrico e profundidades que podem chegar a 220 m. A sua utilização é mais comum na Europa e no Japão, e o seu grande diferencial está no fato de se conseguir elevadas concentrações de oxigênio dissolvido em suas camadas mais profundas.

Os reatores verticais profundos ocupam também uma área bastante inferior à dos sistemas convencionais, e trabalham com um tempo de detenção hidráulica muito menor. Enquanto os sistemas convencionais trabalham com tempos de detenção hidráulica de 6 a 8 h (von Sperling, 1996), os sistemas por poços profundos trabalham com tempos entre 30 e 90 minutos (Mazumder e Dikshit, 2002), o que possibilita a concepção de sistemas extremamente compactos.

A sua utilização se torna especialmente atraente em grandes centros urbanos, onde os custos com terreno são elevados, bem como no tratamento de efluentes altamente concentrados ou com grandes variações de carga. Estes sistemas também causam pouco impacto visual e ambiental onde instalados, devido à sua configuração vertical no sub-solo, sendo possível a construção de jardins, estacionamentos ou mesmo áreas de lazer sobre suas instalações.

Existem algumas estações operando por este sistema no Brasil, sem terem sido ainda objeto de uma avaliação sistemática. A presente pesquisa foi possível graças a um convênio celebrado entre a UFMG e a empresa que detém a patente do sistema.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Escolha da ETE a ser monitorada

Os sistemas de tratamento de esgoto por reatores verticais profundos não são muito difundidos no Brasil. No entanto, por época do início da pesquisa (novembro de 2001) existiam 11 ETE's operando exatamente pela variante destes sistemas que foi estudada. As principais características destas estações estão listadas na Tabela 1.

**Tabela 1: ETE's em operação em Novembro de 2001**

| Nº | ETE                              | Localização          | Q (m³/dia) | Esgoto     |
|----|----------------------------------|----------------------|------------|------------|
| 1  | FIOCRUZ - Fábrica de Vacinas     | Rio de Janeiro, RJ.  | 80         | Industrial |
| 2  | COSIPA - ETE No 6                | Cubatão, SP.         | 273        | Sanitário  |
| 3  | COSIPA - ETE No 1                | Cubatão, SP.         | 580        | Sanitário  |
| 4  | CEDAE – Ilha de Paqueta          | Rio de Janeiro, RJ.  | 1820       | Sanitário  |
| 5  | COSIPA - ETE No 2                | Cubatão, SP.         | 386        | Sanitário  |
| 6  | Colégio Visconde de Porto Seguro | São Paulo, SP.       | 200        | Sanitário  |
| 7  | COSIPA - ETE No 5                | Cubatão, SP.         | 440        | Sanitário  |
| 8  | Parque Gráfico de "O Globo"      | Duque de Caxias, RJ. | 160        | Sanitário  |
| 9  | Recreio dos Bandeirantes         | Rio de Janeiro, RJ.  | 3520       | Sanitário  |
| 10 | Sadia S. A.                      | Duque de Caxias, RJ. | 700        | Industrial |
| 11 | INMETRO                          | Xerém, RJ.           | 218        | Sanitário  |

As características de cada estação foram analisadas na escolha da estação a ser estudada. Foram levados em consideração fatores tais como localização geográfica, facilidade de acesso, operação e principalmente tipo de efluente.

A ETE Inmetro, dentre as estações existentes, é a que apresenta mais características positivas para a sua escolha como

objeto de estudo. O seu afluente não apresenta contribuição industrial ou laboratorial, com vazão relativamente uniforme no decorrer do ano. É uma estação de pequeno porte, onde os procedimentos de coleta de amostras se tornam mais simplificados. A sua localização também é favorável, pois se encontra no bairro de Xerém em Duque de Caxias, próxima ao comércio e a um hotel.

Todos estes fatos levaram à escolha da estação de tratamento de esgotos do Inmetro como objeto de estudo.

### Monitoramento do sistema

O monitoramento do sistema foi feito durante 8 meses, através de análises laboratoriais e de campo. As análises de campo foram realizadas pelo próprio operador. Já as análises laboratoriais foram realizadas pelo laboratório M&B Acessoria Ambiental, sediado em Araruama R.J. e financiadas pela Aqualatina Ambiental Ltda.

As visitas à estação foram feitas duas vezes ao mês, com o intuito de supervisionar e auxiliar nos procedimentos de coleta e preservação das amostras, bem como verificar o funcionamento do sistema. parâmetros de qualidade da água bruta, a turbidez, a cor aparente, o pH, a alcalinidade, a temperatura e os índices de coliformes totais e fecais são periodicamente registrados na maioria das estações de tratamento de água.

### Análises de Campo

As análises de campo foram realizadas na estação pelo próprio operador. Estas análises estão descritas na Tabela 2.

**Tabela 2: Análises de campo.**

| Parâmetro                                            | Local                          | Freqüência      |
|------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------|
| pH                                                   | Esgoto bruto<br>Efluente final | Uma vez por dia |
| Temperatura                                          | Esgoto bruto<br>Efluente final | Uma vez por dia |
| Sólidos sedimentáveis<br>1 hora – cone Imhoff        | Esgoto bruto<br>Efluente final | Uma vez por dia |
| Sólidos sedimentáveis<br>30 minutos – proveta de 1 L | Lodo de retorno                | Uma vez por dia |

Devido à inexistência de um sistema a montante para medir vazões e às dificuldades na sua execução, optou-se pela confecção de um medidor triangular a jusante do tanque de decantação, à saída do efluente final. Foi utilizado um medidor de vazão com três vertedores triangulares com ângulo de 70°.

O posicionamento deste medidor de vazão na estação causa uma certa limitação, não sendo possível se traçar o hidrograma da estação, uma vez que as vazões medidas a jusante já foram equalizadas. Vale ressaltar que a vazão afluente a ETE no período de 18:00 às 06:00 h é praticamente desprezível, pois não há expediente no Inmetro. As contribuições mínimas que ocorrem podem ter como origem as atividades da equipe de segurança, ou mesmo da vazão de infiltração (que passa a ser bastante elevada em dias chuvosos).

### Análises laboratoriais

Foram realizadas análises laboratoriais físico-químicas e bacteriológicas divididas em três categorias: Rotineiras, perfis do reator e intensivas.

Nas análises rotineiras foram realizadas amostragens compostas, com 10 alíquotas horárias de 200 mL, de 08:00 às 17:00 h. A coleta e preservação destas amostras foram realizadas pelo próprio laboratório responsável. Na Tabela 3 são apresentadas as análises rotineiras compostas.

**Tabela 3: Análises rotineiras (Compostas de 9 horas)**

| Parâmetro                           | Frequência | Pontos de Amostragem |    |    |    |
|-------------------------------------|------------|----------------------|----|----|----|
|                                     |            | P1                   | P2 | P3 | P4 |
| DBO                                 | Semanal    | X                    | X  |    | X  |
| DQO                                 | Semanal    | X                    | X  |    | X  |
| DQO filtrada                        | Semanal    |                      |    |    | X  |
| Sólidos em suspensão totais (SST)   | Semanal    | X                    | X  | X  | X  |
| Sólidos em suspensão voláteis (SSV) | Semanal    | X                    | X  | X  | X  |
| Nitrogênio Kjeldahl                 | Mensal     | X                    |    |    | X  |
| Nitrogênio amoniacal                | Mensal     |                      |    |    | X  |
| Nitrito                             | Mensal     |                      |    |    | X  |
| Nitrato                             | Mensal     |                      |    |    | X  |
| Fósforo total                       | Mensal     | X                    |    |    | X  |
| Escherichia coli (Colilert)         | Semanal    | X                    |    |    | X  |
| Oxigênio dissolvido                 | Mensal     |                      | X  |    |    |

As amostras de esgoto bruto eram retiradas de dentro do poço de sucção e as do efluente final no vertedor de saída do decantador. A Figura 1 mostra um esquema dos pontos de amostragem.

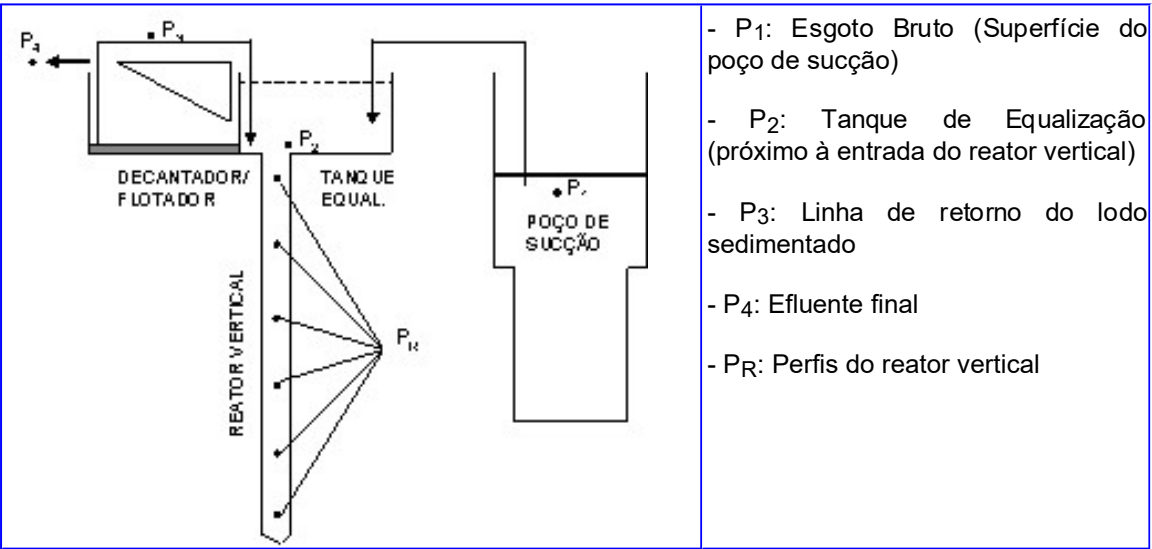


Figura 1: Pontos de Amostragem

Já as análises do perfil do reator eram feitas em amostras simples retiradas a seis profundidades diferentes no reator vertical. Os pontos escolhidos foram os seguintes:

- 10 m: entre o primeiro e o segundo nível de difusão
- 20 m: entre o terceiro e o quarto nível de difusão
- 30 m: exatamente no quinto nível de difusão
- 40 m: entre o sexto e o sétimo nível de difusão
- 50 m: exatamente no nono nível de difusão
- 60 m: próximo à entrada do tubo extrator

A Tabela 4 ilustra as análises do perfil do reator vertical profundo.

**Tabela 4: Análise do perfil do reator.**

| Parâmetro                        | Local                           | Frequência      |
|----------------------------------|---------------------------------|-----------------|
| Sólidos suspensos voláteis (SSV) | Seis pontos no perfil do reator | Uma vez por mês |
| Sólidos suspensos totais (SST)   |                                 |                 |
| Oxigênio dissolvido              |                                 |                 |

Já as análises intensivas foram feitas em duas campanhas, de 08:00 às 18:00 h, e estão descritas na Tabela 5.

**Tabela 5: Análises intensivas**

| Parâmetro                        | Local                         | Frequência          |
|----------------------------------|-------------------------------|---------------------|
| DBO e DQO                        | Esgoto bruto e efluente final | Uma vez a cada hora |
| Sólidos suspensos voláteis (SSV) |                               |                     |
| Sólidos suspensos totais (SST)   |                               |                     |

## DESCRIÇÃO DA ETE – INMETRO

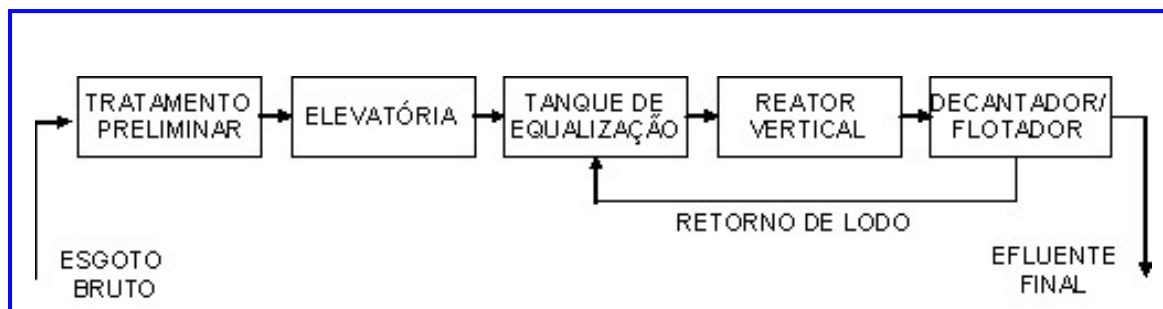
A ETE monitorada está localizada na sede do Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia) no estado do Rio de Janeiro, na cidade de Duque de Caxias (Figura 2). Nela é tratado o esgoto sanitário proveniente dos escritórios, laboratórios, oficinas e de um restaurante que atende aos funcionários. O equivalente populacional de projeto é de 1400 pessoas, no entanto, trabalha-se hoje com 700 pessoas, que são funcionários e terceirizados do Inmetro trabalhando em horário administrativo de segunda a sexta-feira.



**Figura 2: ETE Inmetro**

O seu fluxograma segue o mesmo padrão das outras estações que operam pelo mesmo sistema, apresentando sete componentes básicos: tratamento preliminar, elevatória, tanque de equalização e homogeneização, reator vertical profundo, tanque de decantação / flotação e casa de máquinas. A Figura 3 mostra o fluxograma simplificado da

estação.



**Figura 3: Fluxograma simplificado da ETE Inmetro**

### **Tratamento preliminar**

O tratamento preliminar é bastante simplificado, não existindo caixas de areia, gradeamento fino ou mesmo medidor de vazão. A única estrutura existente é a de um gradeamento grosseiro. A quantidade de material sólido retido na grade é muito pequena, consistindo em tocas e luvas de borrachas, preservativos e resíduos alimentares. A sua limpeza é realizada manualmente uma vez por semana pelo operador da estação.

### **Elevatória**

Após o tratamento preliminar o esgoto é conduzido ao poço de sucção da casa de bombas. Este poço é parte remanescente de um antigo sistema de tratamento por biodiscos, já demolido. Submerso no poço existe um conjunto de duas bombas de recalque que conduzem o esgoto até o tanque de equalização.

### **Tanque de Equalização e Homogeneização**

Vindo da elevatória o esgoto chega ao tanque de equalização. Este tanque tem a função de homogeneizar o esgoto, equalizar as vazões e promover as primeiras reações de oxidação da matéria orgânica. Vale ressaltar que devido às suas pequenas dimensões a sua capacidade de equalizar vazões é bastante limitada. A entrada de esgoto se dá submersa a 3 m do fundo do tanque, vindo da elevatória em dois tubos de PVC de 100 mm. Neste tanque ocorre o primeiro processo de aeração, promovido por um conjunto de difusores de bolhas finas localizados em seu fundo. Estas bolhas, além de fazerem a aeração, promovem através de sua turbulência um regime de mistura completa dentro do tanque. No fundo do tanque de equalização e homogeneização está o reator vertical, onde o processo de estabilização aeróbia da matéria orgânica do esgoto se processa efetivamente.

### **Reator Vertical**

Esta é a parte mais importante do sistema, pois é onde a maioria das reações de oxidação da matéria orgânica ocorrem. O reator vertical tem formato cilíndrico e sua entrada se encontra no fundo do tanque de equalização e homogeneização.



**Figura 4: Reator vertical profundo (figura ilustrativa obtida do *folder* da empresa)**

Este reator é composto basicamente por dois cilindros concêntricos (Figura 4). O cilindro externo é o corpo do reator, por onde o esgoto tem um fluxo descendente. O cilindro interno é o tubo extrator, ou *air lift*, por onde o esgoto já tratado tem um fluxo ascendente do fundo do reator vertical para o decantador / flotador. Fixados no tubo extrator estão os conjuntos de difusores de ar de coluna. A aeração é feita através destes difusores desde os níveis superiores até os mais profundos. Desta forma, o esgoto flui de cima para baixo no reator vertical, sofrendo uma aeração promovida pelos difusores fixados no tubo extrator. No fundo do reator a mistura líquida é bombeada através do tubo extrator até o decantador / flotador. Para isto é utilizado um sistema de bomba de densidade do tipo *air lift*. Este sistema consiste, basicamente, na injeção de ar comprimido na quantidade e pressão adequadas no interior do tubo extrator através de um tubo que está conectado ao reservatório de ar comprimido da casa de máquinas. A injeção desse ar é feita no ponto mais profundo do tubo extrator, formando uma emulsão esgoto / ar com peso específico menor que o do esgoto. Desta forma, a mistura líquida é transportada de forma turbulenta até a superfície.

As principais características do reator vertical estudado são apresentadas na Tabela 6.

**Tabela 6: Principais características do reator vertical estudado**

| Unidade            | Característica                 | Valor                   |
|--------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Corpo do reator    | Diâmetro interno               | 38 cm                   |
|                    | Espessura da parede            | 10 mm                   |
|                    | Profundidade                   | 61 m                    |
|                    | Material                       | Aço                     |
| Tubo extrator      | Diâmetro                       | 3 in                    |
|                    | Profundidade                   | 60,74 m                 |
|                    | Material                       | PVC                     |
|                    | Vazão máxima                   | 13,85 m <sup>3</sup> /h |
| Difusores          | Níveis de difusão              | 10 un                   |
|                    | Difusores por nível            | 4 un                    |
|                    | Espaçamento                    | 6 m                     |
|                    | Vazão máxima de ar por difusor | 0,3 m <sup>3</sup> /h   |
| Bomba de densidade | Pressão de ar aplicada         | 5,30 kg/cm <sup>2</sup> |
|                    | Diâmetro do duto de ar         | 9 mm                    |

#### **Tanque de flotação / decantação**

Do reator vertical o esgoto é conduzido pelo *air lift* até o tanque de flotação / decantação. Como o esgoto chega através

de um conduto forçado a uma velocidade muito grande, há uma estrutura para a dissipação de energia antes da decantação. Esta estrutura é a chamada pirâmide dissipadora, onde a velocidade e a turbulência do esgoto são diminuídas. Esta turbulência gera uma quantidade considerável de material flotado, que é separado na parte superior da pirâmide e retorna ao tanque de equalização. Na parte inferior da pirâmide o esgoto sai para sofrer o processo de decantação

### **Retorno de lodo**

Como em todos os sistemas de lodos ativados, este sistema por reator vertical profundo também possui retorno de lodo. Na ETE Inmetro este retorno é feito por dois caminhos. O lodo flotado na pirâmide dissipadora de energia é retornado por gravidade ao tanque de equalização e homogeneização. Também o lodo decantado no tanque de decantação é retornado ao tanque de equalização e homogeneização. Este, no entanto, tem que ser bombeado por um sistema de bombas de densidade no fundo do decantador. O seu transporte é feito por quatro tubos de 4". O sistema de bombas de densidade que recircula o lodo decantado é acionado por um temporizador que liga e desliga as bombas automaticamente em intervalos de tempo definidos. Durante o período de pesquisa as bombas eram acionadas de 30 em 30 min e ficavam ligadas durante 15 segundos, no entanto este tempo pode ser mudado apenas alterando a configuração do temporizador.

### **Operação do sistema**

A operação da estação é completamente automatizada. No entanto, a presença de um operador se faz necessária no sentido de verificar possíveis falhas no sistema e realizar a limpeza do gradeamento, de sobrenadantes no decantador e da própria estação. Na estação existe um operador trabalhando em horário administrativo, de 08:00 às 17:00 h, de segunda a sexta-feira.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Estatísticas descritivas**

Como exposto anteriormente, o monitoramento do sistema foi feito através de medições e análises físico-químicas e biológicas, de campo e laboratoriais, durante o período de 8 meses. De 14 de maio de 2002 a 21 de janeiro de 2003 foram realizadas as amostragens rotineiras do sistema, do perfil do reator e as campanhas intensivas.

A amostragem composta, bem como a preservação das amostras e as respectivas análises, foram realizadas pelo pessoal do laboratório terceirizado, M & B Assessoria Ambiental, sob a supervisão do mestrando.

Além dos resultados das análises listadas no item Metodologia, também são apresentados, de forma adicional, os resultados de um sistema de cloração implantado a jusante do decantador. Este sistema foi implantado depois do início dos trabalhos de monitoramento e não é parte integrante da presente pesquisa. No entanto os seus resultados na remoção de *Escherichia coli* são apresentados a fim de complementar a avaliação do comportamento do sistema. A Tabela 7 mostra as estatísticas básicas para os parâmetros propostos nas análises rotineiras.

**Tabela 7: Estatísticas básicas para os resultados das análises rotineiras.**



| Parâmetro                              | N. | Mínimo   | Máximo   | Média    | Desv. Padrão | Coef. Variação |
|----------------------------------------|----|----------|----------|----------|--------------|----------------|
| DBO esgoto bruto (mg / L)              | 35 | 60       | 1400     | 194      | 235          | 1,21           |
| DBO efluente (mg / L)                  | 35 | 6        | 160      | 56       | 34           | 0,61           |
| DQO esgoto bruto (mg / L)              | 35 | 146      | 2000     | 367      | 335          | 0,91           |
| DQO efluente (mg / L)                  | 35 | 20       | 370      | 138      | 71           | 0,51           |
| DQO Filt. Efluente                     | 18 | 60       | 320      | 128      | 66           | 0,51           |
| SST esgoto bruto (mg / L)              | 35 | 40       | 1100     | 175      | 198          | 1,13           |
| SST efluente (mg / L)                  | 35 | 12       | 130      | 61       | 24           | 0,39           |
| SSV esgoto bruto (mg / L)              | 35 | 28       | 1070     | 152      | 195          | 1,28           |
| SSV efluente (mg / L)                  | 35 | 10       | 126      | 51       | 23           | 0,45           |
| CF - Esgoto Bruto (NMP / 100 mL)       | 16 | 1,20E+06 | 7,20E+07 | 3,74E+07 | 2,43E+07     | 0,65           |
| CF - Efluente do Reator (NMP / 100 mL) | 16 | 9,80E+03 | 1,20E+07 | 1,23E+06 | 2,94E+06     | 2,39           |
| DBO - Tanque de Equalização (mg / L)   | 25 | 72       | 640      | 213      | 137          | 0,64           |
| DQO - Tanque de Equalização (mg / L)   | 25 | 150      | 1150     | 468      | 278          | 0,60           |
| SSV - Tanque de Equalização (mg / L)   | 13 | 21       | 234      | 95       | 64           | 0,68           |
| SST - Tanque de Equalização (mg / L)   | 13 | 32       | 296      | 121      | 83           | 0,68           |
| SSV - Lodo de Retorno (mg / L)         | 35 | 63       | 31100    | 5236     | 7098         | 1,36           |
| SST - Lodo de Retorno (mg / L)         | 35 | 68       | 35200    | 8212     | 9672         | 1,18           |

Com relação à temperatura, o valor médio encontrado foi de 23° C tanto para o esgoto bruto, quanto para o efluente final, praticamente não variando durante todo o período. Temperaturas próximas a este valor não causam qualquer problema em estações de tratamento biológico de esgotos. O pH foi medido diariamente, no esgoto bruto e no efluente final, durante todo o período de monitoramento. Em todas as ocasiões foi encontrado um valor igual a 7, medido com papel indicador, valor este ótimo para o crescimento bacteriano e o desempenho da ETE.

#### DBO total

Os resultados gerais para DBO total, bem como suas estatísticas básicas para as 35 amostras, estão apresentados na Tabela 8. A série temporal para este parâmetro é apresentada na Figura 5.

**Tabela 8: Estatísticas Básicas para DBO total**

|                           | N. | Mínimo | Máximo | Média | Desvio Padrão | Coef. Variação |
|---------------------------|----|--------|--------|-------|---------------|----------------|
| DBO esgoto bruto (mg / L) | 35 | 60     | 1400   | 194   | 235           | 1,21           |
| DBO efluente (mg / L)     | 35 | 6      | 160    | 56    | 34            | 0,61           |
| Eficiência (%)            | 35 | 3%     | 96%    | 60%   | 25%           | 0,41           |

Em termos médios o sistema cumpriu com o padrão de lançamento do órgão ambiental estadual (FEEMA), que segundo a deliberação No. 3154 (CECA, 1994) é de 60 mg / L, apresentando uma DBO efluente média de 56 mg / L (média das eficiências). No entanto, a eficiência média do sistema está bastante aquém do esperado. O valor médio encontrado, de 60 %, está bastante abaixo da faixa de 85 a 93 % listada por Metcalf & Eddy (1991) para lodos ativados convencionais tratando esgotos domésticos. Conforme cita a literatura, os sistemas verticais profundos costumam trabalhar com eficiências superiores a 90 % (Hemming et al, 1977; Sasser et al, 1991; Mazumder e Dikshit, 2002).

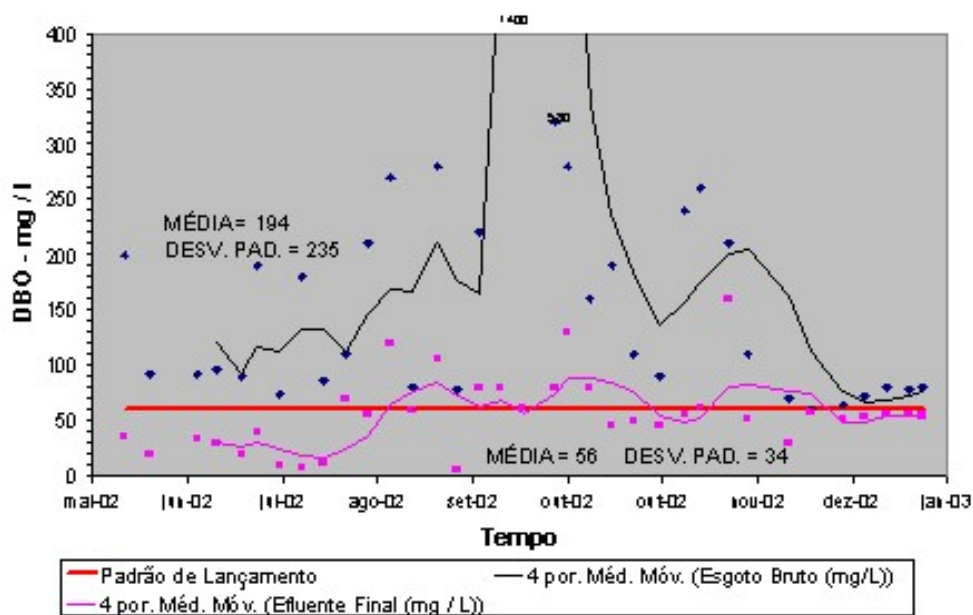


Figura 5: Série Temporal com média móvel de quatro termos - DBO<sub>total</sub>

Esta baixa eficiência, dentre outras coisas, é função do considerável grau de diluição do esgoto bruto, que se torna muito acentuado nos dias chuvosos, devido à elevada extensão da rede coletora. Observando-se o gráfico de distribuição de frequência acumulada para DBO do esgoto bruto (Figura 6), pode-se verificar que cerca de 50 % das amostras estão com DBO inferior a 100 mg/L. Vale ressaltar que o valor médio encontrado para o esgoto bruto, que foi de 194 mg/L, está abaixo do limite inferior da faixa proposta von Sperling (1996), que é de 200 a 500 mg/L para esgotos predominantemente domésticos.

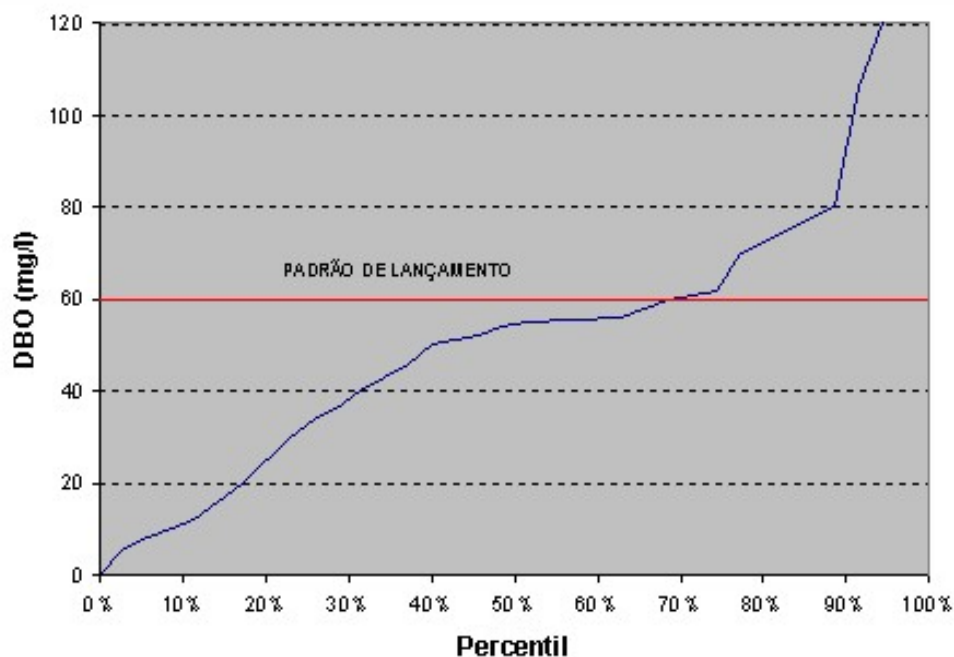


Figura 6: Distribuição de Frequência Acumulada -DBO<sub>efluente</sub>.

Verificou-se uma elevada variabilidade na DBO total afluente, com pode ser visto na série temporal. Os elevados valores para o desvio padrão e para o coeficiente de variação também confirmam este comportamento. Já o efluente

final apresentou uma variabilidade menor, entretanto a sua trajetória acompanhou aproximadamente a do esgoto bruto. Verifica-se também, sobretudo em meados do mês de Setembro, uma certa resistência do sistema a picos de concentração, o que é uma das características marcantes dos poços profundos (Weston, 1982; Yamaoka, S/D).

A análise do gráfico de distribuição de frequência acumulada (Figura 6), ou percentis, pode também auxiliar na visualização do comportamento do sistema. Pode-se observar que operou-se com DBO efluente abaixo do padrão de lançamento em 70 % das amostras. Este valor, apesar de poder ser considerado satisfatório, está aquém do esperado para o sistema que de acordo com a literatura sobre reatores profundos.

Também não se deve desconsiderar o fato de que o sistema operou, em alguns momentos, com uma elevada qualidade do efluente final em termos de DBO, com concentrações de até 6 mg/L. Analisando a Figura 6 pode-se verificar que se obteve uma DBO efluente < 20 mg / L em aproximadamente 18 % das amostras. O aumento da declividade deste gráfico em seu trecho final também indica uma menor ocorrência de valores elevados. Já seu trecho menos inclinado, correspondente aos valores de DBO entre 50 e 60 mg/L, apresenta a maior ocorrência de amostras. Para melhor entendimento deste comportamento é apresentado em anexo o histograma para esta distribuição.

Analisando-se a série temporal, nota-se um aumento considerável na DBO do esgoto bruto na segunda metade do mês de Setembro, afetando a qualidade do efluente final neste mesmo período. Este fato provavelmente foi causado pelas primeiras chuvas que ocorreram depois de um período de relativa estiagem, que aumentaram a vazão na rede coletora, promovendo o arraste do material sedimentado durante o período seco até a estação.

Outra tendência observada no gráfico é a diminuição da DBO do esgoto bruto no final do mês de Dezembro e a relativa manutenção desta concentração em Janeiro. Este fato pode ser entendido analisando-se a configuração do poço de sucção. Como mostrado no item de metodologia, este poço possui elevadas dimensões, o que lhe confere um tempo de detenção hidráulica relativamente elevado. Desta forma, o seu funcionamento pode ser encarado como o de uma fossa séptica atuando como pré-tratamento do sistema. No final do mês de Dezembro, este poço foi limpo com o auxílio de um caminhão limpa-fossa, melhorando assim a sua capacidade de retenção de sólidos. Como o afluente ao reator vertical vem deste poço, foi verificada uma diminuição na sua DBO.

Em termos gerais, foi verificado o atendimento ao padrão de lançamento para DBO em valores médios, com 70 % das amostras abaixo do patamar de 60 mg/L. No entanto, o seu rendimento está abaixo do esperado e referendado na literatura. Tudo indica que isto está sendo causado pela baixa concentração de biomassa no sistema, sendo que este comportamento será melhor discutido posteriormente.

## DQO

As análises relativas a DQO também foram realizadas em 35 amostras compostas provenientes das amostragens rotineiras. Elas apresentaram um padrão de ocorrência semelhante ao da DBO e, como seria de se esperar, a eficiência de remoção do sistema para este parâmetro, devido à sua menor fração biodegradável, foi menor, apresentando um valor médio de 51 %. Os resultados gerais para estas análises, bem como suas estatísticas básicas estão apresentados na Tabela 9.

**Tabela 9: Estatísticas Básicas para DQO total**

|                           | Mínimo | Máximo | Média | Desvio Padrão | Coef. Variação |
|---------------------------|--------|--------|-------|---------------|----------------|
| DQO esgoto bruto (mg / L) | 146    | 2000   | 367   | 335           | 0,91           |
| DQO efluente (mg / L)     | 20     | 370    | 138   | 71            | 0,51           |
| Eficiência (%)            | 0,0%   | 91,5%  | 50,6% | 27,9%         | 0,55           |

Pode-se verificar a alta variabilidade desta distribuição que, como seria de se esperar, é maior para o esgoto bruto do que para o efluente final (coeficientes de variação de 0,91 e 0,51, respectivamente). A distribuição para DQO segue o mesmo padrão da DBO, apresentando os mesmos picos e períodos de estabilidade. Também pode ser verificada a sua baixa concentração no esgoto bruto, com um valor médio de 367 mg/L, que se encontra ligeiramente abaixo do limite inferior da faixa típica de 400 a 800 mg/L citada por von Sperling (1996). No estado do Rio de Janeiro, onde a estação estudada está implantada, não existe padrão de lançamento para DQO. Caso fosse levado em conta o padrão de lançamento do estado de Minas Gerais, que é de 90 mg/L, o sistema não o estaria atendendo, trabalhando com um valor médio de 138 mg/L. No entanto, deve ser levado em consideração o caráter extremamente restritivo deste padrão, e a sua inconsistência com o padrão de lançamento para DBO. De acordo com von Sperling (1996) o efluente de tratamentos biológicos guarda uma relação DQO/DBO de aproximadamente 3,0 ou mais. Desta forma, sendo o padrão de lançamento para DBO de 60 mg/L, o padrão para DQO deveria ser 180 mg/L, valor este bastante superior à média encontrada no sistema.

### Relação DQO/DBO

A relação DQO/DBO é um importante parâmetro para a caracterização das águas residuárias, dando uma boa indicação de sua biodegradabilidade. Valores elevados para esta relação podem caracterizar um efluente mais indicado para tratamento químico ou físico-químico, enquanto que valores baixos indicam o tratamento biológico. Von Sperling (1996) cita valores típicos para esgotos domésticos entre 1,7 e 2,4 e Yanes (1993) reporta valores entre 1,7 e 2,0. As análises do esgoto afluente à ETE mostraram um valor médio de 2,11, o que está dentro da faixa esperada. Como consequência da ação decompositora da biomassa, consumindo a matéria orgânica biodegradável, efluentes de tratamento biológico apresentam valores mais elevados para esta relação, usualmente superiores a 3,0 (von Sperling, 1996). Verificando a Tabela 10 observa-se que o sistema apresentou um valor médio de 2,98 para esta relação (significativamente superior ao 2,11 apresentado pelo esgoto bruto). Pode também ser verificada a maior variabilidade desta relação para o efluente final do que para o esgoto bruto. Isto pode ser explicado pelo fato de que a relação DQO/DBO no efluente final depende do desempenho do sistema de tratamento.

**Tabela 10 : Estatísticas básicas para DQO/DBO**

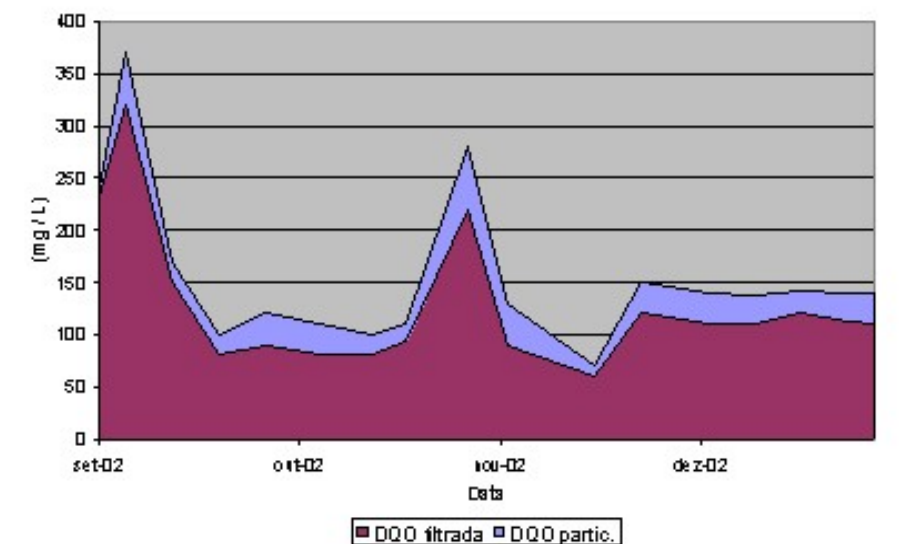
|                | Mínimo | Máximo | Média | Desvio Padrão | Coef. Variação |
|----------------|--------|--------|-------|---------------|----------------|
| Esgoto Bruto   | 1,43   | 12,50  | 2,11  | 0,43          | 0,20           |
| Efluente Final | 1,75   | 12,50  | 2,98  | 1,99          | 0,67           |

### DQO Filtrada e Particulada no Efluente Final

A análise da DQO filtrada não estava presente no programa de monitoramento inicial, sendo introduzida nas análises rotineiras do efluente final a partir do dia 29 de Setembro, totalizando 18 amostras no final do período de monitoramento. Os resultados gerais para a distribuição da DQO particulada e DQO filtrada no efluente final estão ilustrados na Figura 7 e sumarizados na Tabela 11.

**Tabela 11: Estatísticas básicas para a distribuição da DQO efluente**

|                                              | Mínimo | Máximo | Média | Desvio Padrão | Coef. Variação |
|----------------------------------------------|--------|--------|-------|---------------|----------------|
| DQO <sub>Filtr.</sub> Efluente               | 60     | 320    | 128   | 68            | 0,53           |
| DQO <sub>Part.</sub> Efluente                | 8      | 60     | 28    | 13            | 0,47           |
| DQO <sub>Filtr.</sub> / DQO <sub>Total</sub> | 0,69   | 0,97   | 0,81  | 0,06          | 0,08           |



**Figura 7: Distribuição da DQO efluente**

Constatou-se uma relação DQO Filtr. / DQO Total bastante elevada, com valor médio de 0,81. Com base neste valor, e também analisando-se a Figura 7, pode-se concluir que grande parte da matéria orgânica efluente encontra-se na forma dissolvida, mais passível de assimilação pela biomassa. Com base no exposto, pode-se concluir que a limitação na eficiência de remoção de matéria orgânica está associada ao desempenho do reator, e não do decantador.

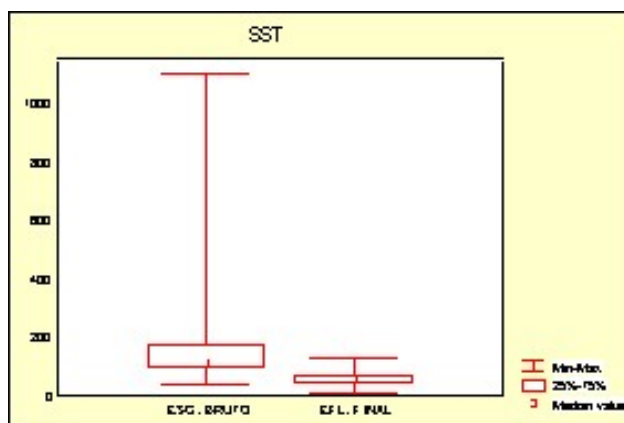
### Sólidos em Suspensão Totais (SST)

A quantidade de sólidos tanto afluentes quanto efluentes ao sistema é bastante baixa. A Tabela 12 mostra os resultados gerais e suas estatísticas básicas para SST.

**Tabela 12: Estatísticas básicas para SST**

|                           | N. | Mínimo | Máximo | Média | Desvio Padrão | Coef. Variação |
|---------------------------|----|--------|--------|-------|---------------|----------------|
| SST esgoto bruto (mg / L) | 34 | 40     | 1100   | 175   | 198           | 1,13           |
| SST efluente (mg / L)     | 34 | 12     | 130    | 61    | 24            | 0,39           |
| Eficiência (%)            | 34 | 0%     | 91%    | 50%   | 23%           | 0,46           |

Nota-se que o valor médio para SST no esgoto bruto, de 175 mg / L, está abaixo do limite inferior da faixa típica para esgotos sanitários domésticos que é de 200 a 450 mg / L (Arceivala, 1981).



**Figura 8: Box e Whiskers para SST**

O sistema cumpriu com folga o padrão de lançamento para SST, que no Rio de Janeiro é de 100 mg / L para valores médios, de acordo com a deliberação No. 1007 (CECA, 1986), apresentando um valor médio efluente de 61 mg/L. Vale ressaltar que a baixa concentração de sólidos em suspensão afluente contribuiu para o fácil atendimento ao padrão de lançamento, uma vez que a eficiência de remoção de sólidos do sistema encontrada foi relativamente baixa, em média 51%.

No entanto, muitas vezes em sistemas biológicos, devido à geração de sólidos no reator, as concentrações de sólidos afluentes e efluentes são independentes entre si. Mas verificando a Figura 8 conclui-se que para o caso estudado as duas concentrações variam de forma bastante semelhante. Este fato pode ser explicado pela baixa retenção de biomassa do sistema estudado.

#### **Sólidos suspensos voláteis (SSV) e Sólidos suspensos totais (SST)**

Os resultados para a relação SSV/SST estão sumarizados na Tabela 13. Pode-se verificar que esta relação apresenta valores próximos para o esgoto bruto e para o efluente final, com o primeiro, como seria de se esperar, apresentando uma maior variabilidade. O valor médio de 0,82 para o esgoto bruto está condizente com 0,80 proposto por Metcalf & Eddy (1991).

**Tabela 13: Estatísticas básicas para SSV/SST**

|                | Mínimo | Máximo | Média | Desvio Padrão | Coef. Variação |
|----------------|--------|--------|-------|---------------|----------------|
| Esgoto bruto   | 0,42   | 1,00   | 0,82  | 0,18          | 0,22           |
| Efluente final | 0,50   | 1,00   | 0,84  | 0,12          | 0,14           |

#### **Remoção de Nutrientes**

As análises de nutrientes, na forma de fósforo e nitrogênio, foram realizadas dentro das amostragens rotineiras apenas uma vez por mês. Desta forma, foram obtidas apenas 9 resultados para o esgoto bruto e efluente final. Estes resultados estão expostos na íntegra nos anexos. A análise do comportamento de estações de tratamento de esgoto na remoção de nutrientes e o estudo de sua possível otimização é de fundamental importância nos dias de hoje, onde se convive com

graves problemas ambientais decorrentes da eutrofização dos ambientes aquáticos lânticos.

### Nitrogênio

O nitrogênio presente no esgoto afluente a uma ETE está usualmente na forma orgânica e amoniacal, representando o chamado Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK). No decorrer do processo biológico, primeiramente ocorre a amonificação, que é a conversão do nitrogênio orgânico em amoniacal, podendo ocorrer em seguida a nitrificação, através das bactérias nitrificantes, transformando parte deste nitrogênio amoniacal em nitrito e posteriormente em nitrato. Caso existam condições propícias, ausência de oxigênio, pode ocorrer a desnitrificação, que é a transformação do nitrato em nitrogênio molecular, com conseqüente fuga para a atmosfera.

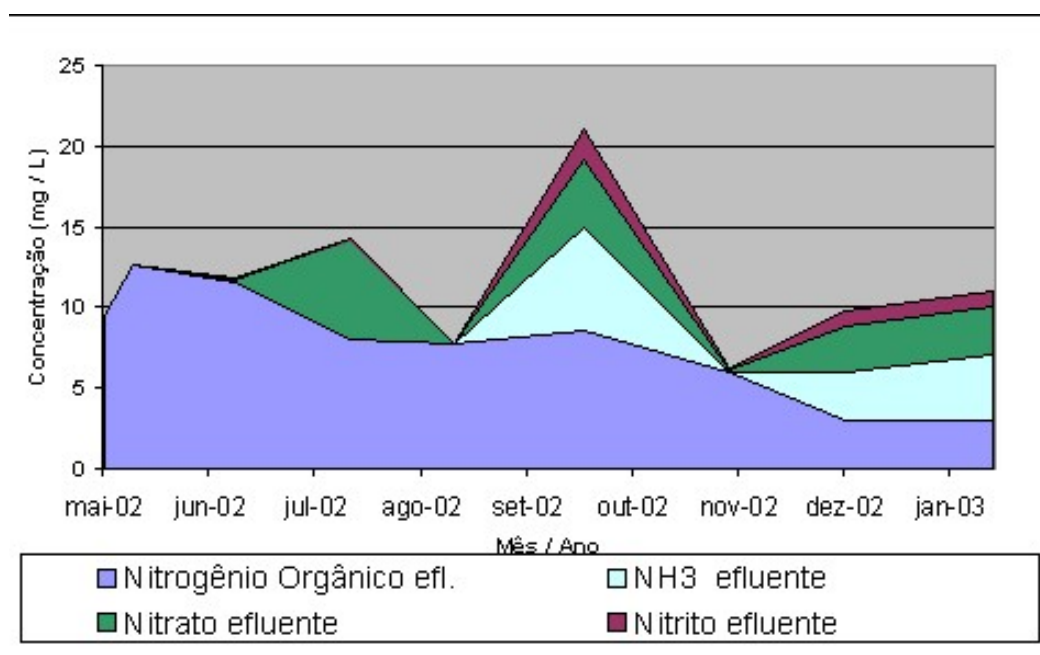
O esgoto doméstico geralmente é rico em nitrogênio, apresentando concentrações típicas entre 35 e 70 mg/L de NTK (Pessoa e Jordão, 1982). As concentrações de nitrito e nitrato geralmente são desprezíveis. Como mostrado na Tabela 14, a concentração média para o NTK afluente à ETE estudada, de 13 mg/L, está bastante abaixo da faixa típica. Mesmo o valor mais elevado, que é de 28 mg/L está abaixo da faixa. Vale ressaltar o fato de que o esgoto bruto é significativamente diluído, apresentando valores baixos para diversos parâmetros.

**Tabela 14: Estatísticas Básicas para as concentrações das diversas formas do Nitrogênio no sistema (mg/L)**

|                             | N. | Mínimo | Máximo | Média | Desvio Padrão | Coef. Variação |
|-----------------------------|----|--------|--------|-------|---------------|----------------|
| NTK <sub>afluente</sub>     | 9  | 6,5    | 28     | 13    | 6             | 0,5            |
| NTK <sub>efluente</sub>     | 9  | 6      | 15     | 9     | 3             | 0,34           |
| Nitrito <sub>efluente</sub> | 9  | 0      | 1,8    | 0,5   | 0,7           | 1,41           |
| Nitrato <sub>efluente</sub> | 9  | 0      | 6,2    | 1,8   | 2,3           | 1,27           |
| AMÔNIA <sub>afluente</sub>  | 9  | 0      | 6,5    | 1,5   | 2,4           | 1,6            |

O sistema não foi dimensionado visando à remoção de nitrogênio, não apresentando estruturas destinadas a este fim, tais como zonas anóxicas. Como seria de se esperar, a sua eficiência na remoção de nitrogênio foi baixa, com um valor médio de aproximadamente 21 %. Este valor está dentro do esperado para lodos ativados na modalidade convencional, que é de 15 a 30 % (von Sperling, 1997). A literatura sobre os reatores verticais profundos também reporta valores semelhantes (Mazumder e Dikshit, 2002). No entanto, poder-se-ia conseguir uma maior remoção de nitrogênio com a implantação de uma zona anóxica a montante ou a jusante do reator vertical, desde que fosse assegurada a nitrificação a montante.

A Figura 9 mostra a distribuição do nitrogênio, em suas diversas formas, no efluente final. Pode-se verificar a predominância da forma orgânica no efluente final, indicando uma amonificação apenas parcial.



**Figura 9: Distribuição do Nitrogênio no Efluente Final**

A concentração de nitrato aparece de forma pouco acentuada, indicando uma nitrificação marginal. Conforme citado na literatura, o nitrito aparece em concentração menor. A amônia, ausente no efluente até o mês de Setembro, aparece em concentração semelhante à do nitrato. A amônia causa especial preocupação devido a seu caráter tóxico à vida aquática, principalmente em faixas elevadas de pH. A Resolução CONAMA (20/86) fixa o padrão de lançamento para amônia em 5 mg /L. Nas nove análises feitas para este parâmetro o efluente final apresentou concentração superior a este limite em apenas um dos casos.

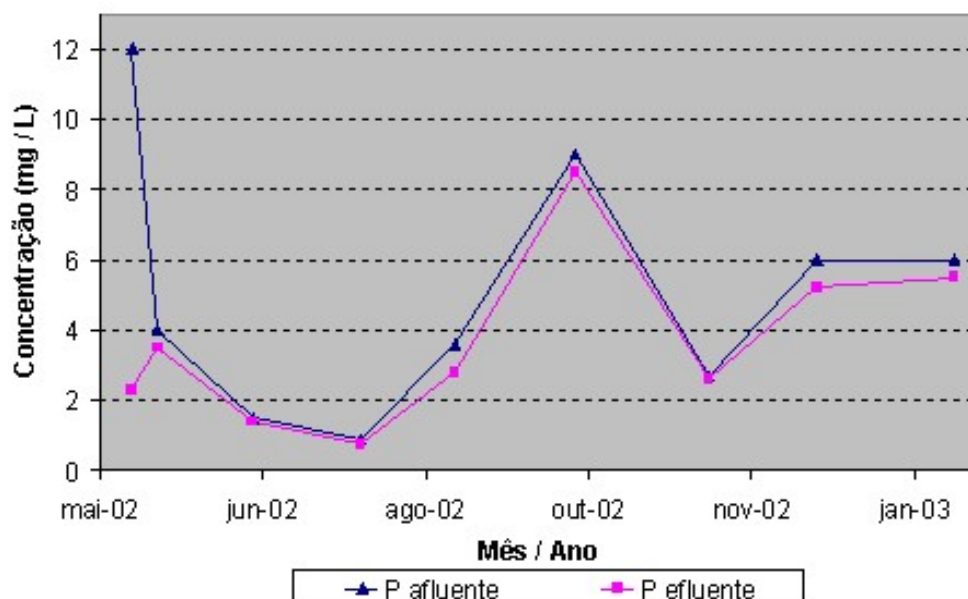
### Fósforo

O fósforo está presente no esgoto doméstico geralmente na forma de ortofosfatos e polifosfatos, constituindo na maioria das vezes o fator limitante para a eutrofização de ambientes aquáticos. A concentração típica para esgotos domésticos está entre 5 e 12 mg/L (von Sperling, 1996). A sua remoção é geralmente feita em reatores com arranjos especiais, que apresentam zonas anaeróbias e aeróbias, fazendo com que este fósforo seja absorvido em excesso pelas bactérias e posteriormente descartado com o lodo excedente. Os sistemas de lodos ativados usuais não apresentam estes arranjos e por consequência conseguem baixas eficiências na remoção de fósforo. Para a variante convencional, as eficiências de remoção alcançadas estão entre 30 e 45 %, e na variante aeração prolongada entre 10 e 20 % (von Sperling, 1997).

As estatísticas básicas para fósforo estão mostrados na Tabela 15 e a série temporal na Figura 10.

**Tabela15: Estatísticas Básicas – Concentrações de Fósforo (mg/L)**

|                       | N. | Mínimo | Máximo | Média | Desv. Padrão | Coef. Variação |
|-----------------------|----|--------|--------|-------|--------------|----------------|
| P <sub>afluente</sub> | 9  | 0,9    | 12     | 5,1   | 3,6          | 0,71           |
| P <sub>efluente</sub> | 9  | 0,75   | 8,5    | 3,6   | 2,4          | 0,67           |
| Eficiência            | 9  | 4%     | 81%    | 19%   | 24%          | 1,27           |



**Figura 10: Série Temporal – Fósforo Total**

Como o sistema estudado não foi dimensionado para a remoção de fósforo, não apresentando zonas anaeróbias, a sua eficiência média de remoção foi de apenas 19 %, valor este dentro da faixa esperada. A concentração média no esgoto bruto está bem próxima ao limite inferior da faixa usual para esgotos domésticos. Desta forma, o efluente final acaba também contendo baixas concentrações de fósforo.

### *Escherichia coli*

Não existe padrão de lançamento para coliformes fecais. No entanto, a Resolução CONAMA (20/86) indica um valor de  $1 \times 10^3$  CF/ 100 mL para corpos receptores de classe 2, que correspondem à maioria dos rios no território nacional. Desta forma, desconsiderando-se a capacidade de diluição do curso d'água, pode-se considerar este valor como o



padrão de lançamento para coliformes fecais.

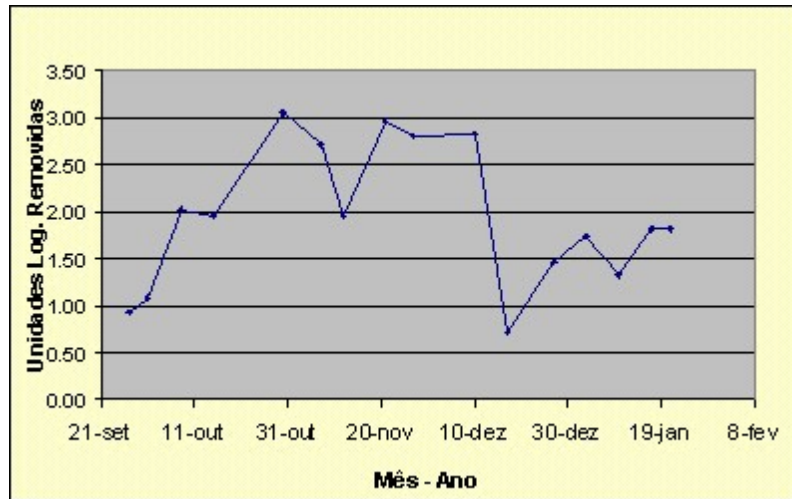
As análises de *Escherichia coli* estavam previstas para serem realizadas no monitoramento rotineiro um vez por mês, pelo método do Colilert. Devido a dificuldades, estas foram iniciadas de forma correta apenas em 27 de Setembro, estendendo-se até 21 de Janeiro. Como o período de amostragem ficou reduzido, a frequência foi aumentada para uma vez por semana. Foram obtidos desta forma 16 resultados para *Escherichia coli*. As estatísticas básicas para *Escherichia coli* estão descritas na Tabela 16.

**Tabela 16: *Escherichia coli* - Estatísticas Básicas**

| Parâmetro                        |              | Mínimo   | Máximo   | Média    | Desvio Padrão | C V  |
|----------------------------------|--------------|----------|----------|----------|---------------|------|
| Esgoto Bruto (NPM / 100 mL)      |              | 1,20E+06 | 7,20E+07 | 3,74E+07 | 2,43E+07      | 0,65 |
| Efluente do Reator (NMP/ 100 mL) |              | 9,80E+03 | 1,20E+07 | 1,23E+06 | 2,94E+06      | 2,39 |
| Eficiência Reator                | Porcentagem  | 81%      | 99,91%   | 96,48%   | 5%            | 0,06 |
|                                  | Unidades log | 0,71     | 3,05     | 1,95     | 0,75          | 0,38 |

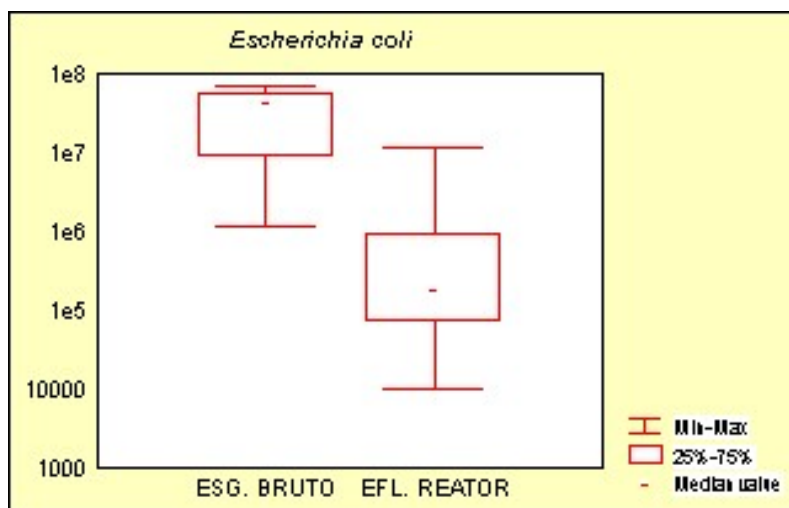
A concentração média de *Escherichia coli* no esgoto bruto está dentro da faixa típica para esgotos domésticos citada por Arceivala (1981), que é de  $10^5$  a  $10^8$  NMP / 100 mL. Como seria de se esperar em sistemas de lodos ativados, o reator vertical não apresentou uma eficiência suficiente na remoção de *Escherichia coli*, apresentando um valor médio de 96,48 %. No entanto, este valor médio de remoção é expressivo, tendo em vista que sistemas de lodos ativados trabalham com eficiências entre 60 e 90 % (Metcalf & Eddy, 1991). Deve ser levado em consideração também o baixo tempo de detenção hidráulica do reator vertical, que é de apenas 68 min. Os sistemas de lodos ativados operam com tempos bem maiores, de 6 a 8 h para sistemas convencionais (von Sperling, 1997), conseguindo geralmente eficiências menores. Ainda deve ser ressaltado o fato de que o reator vertical conseguiu trabalhar com uma eficiência máxima de 99,91 %, o equivalente à remoção de 3,05 unidades logarítmicas. Este valor é muito bom, tendo em vista que é um sistema que opera com baixíssimo tempo de detenção hidráulica.

A eficiência média do sistema ficou em 96,48 %, o que equivale à remoção de 1,45 unidades logarítmicas. A Figura 11 mostra a série temporal das unidades logarítmicas removidas no reator vertical. Já a variação dos dados na forma de Box e Whiskers é apresentada na Figura 12.



**Figura 11: Série Temporal – Eficiência de Remoção de *E. Coli***





**Figura 12: Série Temporal – *Escherichia coli***

A variabilidade das amostras do efluente do reator está consideravelmente acima das do esgoto bruto. Este fato pode ser explicado pelo fato de que a concentração de *Escherichia coli* no efluente depende diretamente do desempenho do sistema, e este é função de diversos fatores. Analisando a Figura 13 pode-se constatar que cerca de 50 % das amostras do efluente final estão com concentração abaixo de  $10^5$  NMP / 100 mL.

## CONCLUSÃO

O sistema teve desempenho razoável, cumprindo, em valores médios, com o padrão de lançamento do Órgão Ambiental. Entretanto, o seu desempenho, em termos de remoção de matéria orgânica e sólidos, esteve aquém do esperado e citado na literatura sobre sistemas de lodos ativados por poços profundos. Acredita-se que a causa principal desta limitação esteja na baixa capacidade de retenção de biomassa na unidade estudada. As concentrações de sólidos em suspensão voláteis encontradas, tanto no tanque de equalização, quanto no reator vertical, estão significativamente abaixo das citadas na literatura para lodos ativados usuais e para reatores verticais profundos.

Vale ressaltar também o considerável grau de diluição do esgoto bruto, o que dificultou a obtenção de eficiências de remoção mais elevadas. Por exemplo, o sistema operou com DBO afluente abaixo de 100 mg/L em 50 % das amostras.

A baixa massa de sólidos (concentração e volume) no reator acarreta elevados valores para a relação A/M, o que diminui a capacidade do sistema em assimilar matéria orgânica, e baixas valores para a idade do lodo, o que conduz a um lodo pouco estabilizado. Esta baixa concentração de biomassa no sistema pode ser ocasionada por diversos fatores.

Na remoção de nutrientes, o sistema apresentou-se com eficiência similar à dos métodos usuais. A remoção de *Escherichia coli*, por outro lado, apresentou uma eficiência substancial, tendo em vista o seu baixo tempo de detenção hidráulica.

Quanto à estabilidade às variações de carga afluente, o sistema se mostrou consideravelmente resistente, apresentando uma certa constância na qualidade do efluente final, mesmo quando ocorreram picos de carga. Vale ressaltar que esta é uma das principais características dos poços profundos citadas na literatura.

A operação do sistema se mostrou bastante simples, sendo necessário apenas um operador para verificar o funcionamento do equipamento, que é em sua maioria automatizado. A necessidade do operador se faz mais no sentido de se verificar a ocorrência de possíveis falhas e monitorar o comportamento da ETE.

Todas as unidades da estação estão implantadas em uma área significativamente menor que a necessária aos processos usuais de tratamento de esgoto. Não foram verificados mau cheiro, aerossóis, barulho ou mesmo impacto visual nas imediações da estação, sendo que a sua presença se passa quase que despercebida. Desta forma, esta variante dos lodos ativados se torna especialmente atraente para locais com reduzida disponibilidade de área ou mesmo com intolerância a impactos paisagísticos.

De maneira geral, conclui-se que o sistema apresenta desempenho satisfatório, com requisitos de área e energia consideravelmente reduzidos. Entretanto, devem ser tomadas medidas no sentido de se otimizar o processo, visando o aproveitamento de todo o seu potencial que é amplamente citado na literatura.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Aqualatina Ambiental pelo apoio na realização da pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARCEIVALA, S. J. Wastewater treatment and disposal. Marcel Dekker, New York, 1981, 892p.2.
2. CECA (COMISSÃO ESTADUAL DE CONTROLE AMBIENTAL DO RIO DE JANEIRO): Deliberação Normativa nº 1007 de 4 de dezembro de 1986.
3. CECA (COMISSÃO ESTADUAL DE CONTROLE AMBIENTAL DO RIO DE JANEIRO): Deliberação Normativa nº 3154 de 26 de abril de 1994.
4. CONAMA (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE): Resolução nº 20 de 18 de julho de 1986.
5. HEMMING, M.L.; OUSBY, J.C.; PLOWRIGHT, D.R.; WALKER, J. Deep Shaft – Latest Position. Water Pollution Control, v. 76, p. 441, 1977.
6. MAZUMDER, D. e DIKSHIT, A.K. Applications of the deep shaft activated sludge process in wastewater treatment. International Journal of Environment and Pollution, v. 17, n. 3, p. 266-272, 2002.
7. METCALF & EDDY (1991). Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse. 3a Edição. McGraw-Hill Inc., 1991. 1334p.
8. PESSOA, C.A. & JORDÃO, E.P. Tratamento de esgotos domésticos. 2ª Edição. Rio de Janeiro, ABES, 1982.
9. RIBEIRO, M.A., Saúde. In: MAURÍCIO ANDRÉS RIBEIRO: Ecologizar – Pensando o Ambiente Humano, 1ª Edição. Belo Horizonte, RONA EDITORA, 1998. Cap. 4, p. 173-194.
10. SASSER, L.W.; HOBBS, J.; GUTTORMSEN, K.; POLLOCK, D. Start up and performance of the deep shaft activated sludge wastewater treatment facility at Homer, Alaska. In: Anais: 64a Conferência Annual da WPCF, 1991.
11. VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1996a. 243p.
12. VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol.4 Lodos ativados. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1997. 428 p.
13. WESTON, R.G. Technology assessment of deep biological reactor. Report EPA 600/2-82-002, 1982. 88p.
14. YAMAOKA, K. Examples of application of the deep shaft aeration method to effluent treatment and its effects. (S/D)